目录

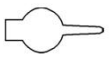
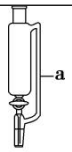
专题一 实验综合 2
热点题空 1 常考仪器的选择、连接与作用 2
热点题空 2 实验装置、试剂的作用 5
热点题空 3 实验条件的多维控制 13
热点题空 4 实验操作目的、实验现象的精准描述 16
热点题空 5 物质检验或鉴别实验方案的设计 22
热点题空 6 化学综合实验 27
热点题空 7 定量测定物质的含量 33
专题二 化学反应原理 41
热点题空 1 热化学反应与催化机理循环图 41
热点题空 2 陌生电化学装置中电极方程式的书写 45
热点题空 3 反应速率、转化率、速率常数的计算 49
热点题空 4 平衡常数的计算 52
热点题空 5 多重平衡在连续反应及竞争反应中的相关计算 55
热点题空 6 多重反应平衡图像的原因分析 57
热点题空 7 平衡图像原因解释之温度、压强对平衡的影响 60
热点题空 8 平衡图像原因解释之选择反应最佳条件、转化率和产率变化分析 64
热点题空 9 电解质溶液中的计算 67
热点题空 10 电解质溶液中的图像 69
专题三 化工流程 73
热点题空 1 原料预处理的常用方法 73
热点题空 2 转化过程中 pH 条件的控制 76
热点题空 3 转化过程中温度条件的控制 78
热点题空 4 工艺流程中的分离与提纯 82
热点题空 5 工艺流程中的答题规范 87
热点题空 6 工艺流程中方程式的书写 90
热点题空 7 工艺流程中加入试剂的作用和循环物质的确定 94
热点题空 8 工艺流程题中的图像分析 98
热点题空 9 晶体 100
专题四 有机推断 104
热点题空 1 官能团的辨认与书写 104
热点题空 2 有机化合物的命名 106
热点题空 3 有机反应类型及有机方程式书写 112
热点题空 4 有限制条件同分异构体的书写 121
热点题空 5 含氮有机化合物的同分异构体书写 127
热点题空 6 有机合成路线的设计 130

专题一 实验综合

热点题空 1　常考仪器的选择、连接与作用

【高考必备知识】

1．仪器的辨认

仪器						
名称						
仪器						
名称						

2．仪器的选择

依据实验原理(化学方程式)中反应物及制备物质的状态、用量来选择合适的容器。

(1)固体与固体混合物加热，多采用大试管盛放

(2)液体与液体加热多采用烧瓶盛放

(3)固体与液体反应可采用大试管或烧瓶

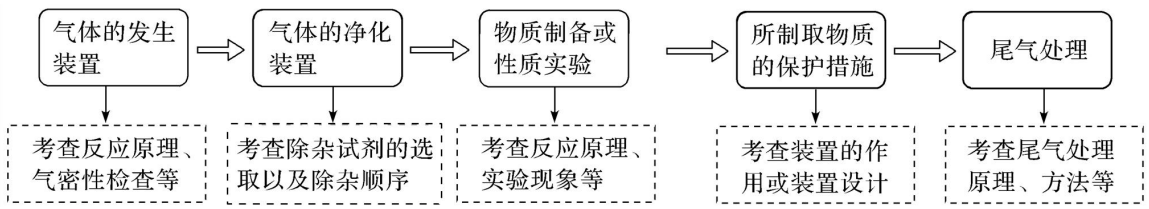
(4)反应需要加热应根据温度的高低选择酒精灯(500 ℃左右)、水浴(小于 100 ℃)、酒精喷灯(高温)等条件

(5)反应物挥发或有副产物生成的需要选择除杂装置，如洗气瓶(除气体杂质)、过滤、 蒸发结晶、分液、分馏装置等

(6)根据制备物质的量选择合适规格的仪器

3．仪器或接口的连接顺序

(1)仪器的连接：实验仪器大多按物质制备→纯化→性质探究或验证→环保处理的顺序装配



①若制备物质为液态时，装置一般按制备(蒸馏烧瓶)→蒸馏(温度计控温)→冷凝(冷凝管)→接收(牛角管、锥形瓶)

②若制备物质为气体时，装置可根据气体的流动方向：制气→除杂→性质验证→尾气处理进行装配

(2)接口的连接——总体原则：“自下而上，从左到右”

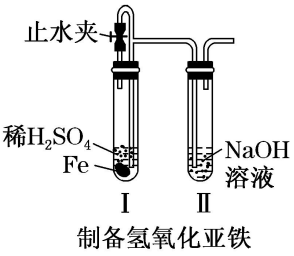
4．气压原理在装置中的应用

(1)检查装置的气密性——常用方法：微热法或液差法

(2)防倒吸、平衡气压

(3)减压过滤

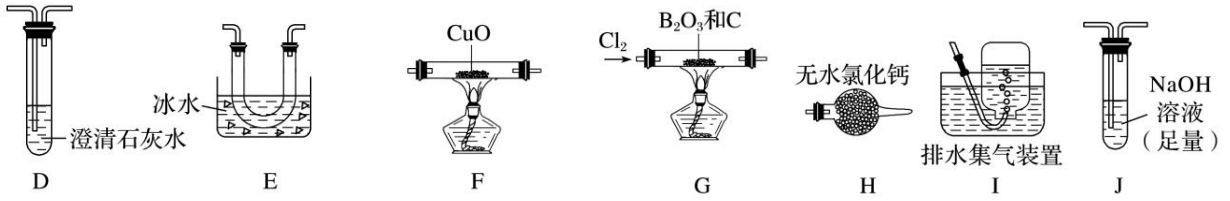
(4)压送液体：根据装置的封闭性和气体压强，让反应生成气体或消耗气体，产生压强差，将液体压入或倒流入另一反应容器。

装置图	解题指导
 制备氢氧化亚铁	铁与稀硫酸反应生成硫酸亚铁和氢气，氢气再将生成的 $FeSO_4$ 溶液压入另一个含氢氧化钠溶液的反应容器内制备氢氧化亚铁

【题组训练】

1.三氯化硼(BCl_3)是一种重要的化工原料。实验室制备 BCl_3 的原理 $B_2O_3+3C+3Cl_2\xlongequal{}2BCl_3+3CO$，某实验小组利用干燥的氯气和下列装置(装置可重复使用，略去夹持装置)制备 BCl_3 并验证反应中有 CO 生成。已知：BCl_3 的熔点为-107.3 ℃，沸点为 12.5 ℃，遇水水解生成 H_3BO_3 和 HCl，请回答下列问题：

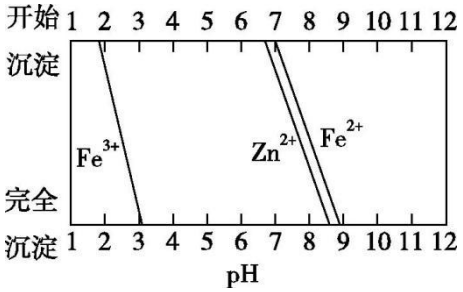
实验：制备 BCl_3 并验证产物 CO



(1)该实验装置中合理的连接顺序为 G→_____→_____→_____→_____→F→D→I，其中装置 E 的作用是_____

(2)装置 J 中发生反应的化学方程式为_____

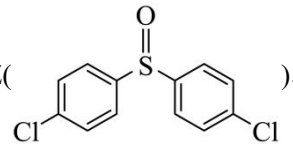
2.某化学课外小组拟用废旧干电池锌皮(含杂质铁)，结合如图信息利用实验可提供的试剂制取纯净的 $ZnSO_4\cdot7H_2O$。从以下选项选择合适步骤并填空：d→____→____→____→i→____→____→e。



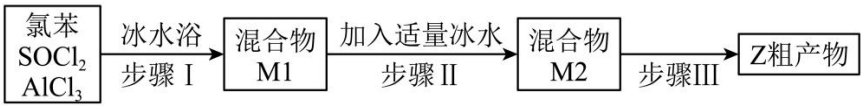
a．加入新制氯水　　b．锌皮完全溶于稍过量的 3 mol/L 稀硫酸　　c．加入 30%H_2O_2 溶液

d．锌皮用热碱溶液洗涤干净　　e．过滤、洗涤、干燥　　f．过滤得 $ZnSO_4$ 溶液

g．加入纯 ZnO 粉末　　h．蒸发浓缩，冷却结晶　　i．加热到 60 ℃左右，并不断搅拌

3．某研究小组探究 $AlCl_3$ 催化氯苯与氯化亚砜($SOCl_2$)生成 Z()和 HCl 气体的反应。

实验流程为：



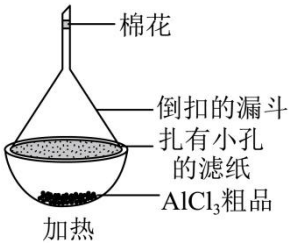
已知：①$SOCl_2$ 遇水即放出 SO_2 和 HCl。

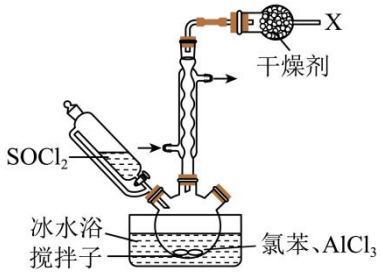
②氯苯溶于乙醚，难溶于水；Z 易溶于乙醚，难溶于水；乙醚不易溶于水。

③$AlCl_3$ 易升华；$AlCl_3$ 易与 Cl^- 反应生成配离子$[AlCl_4]^-$。

请回答：

(1)在无水气氛中提纯少量 $AlCl_3$ 的简易升华装置如下左图所示，此处漏斗的作用是_____。





(2)写出上右图中干燥管内可用的碱性干燥剂_____；作用是_____。

(3)盛装氯苯的仪器名称是_____。

(4)写生成 Z 的化学方程式_____。

(5)步骤I，下列说法正确的是_____。

A．反应装置置于冰水浴中，是为了控制反应温度

B．搅拌子作用是搅拌，加快反应速率

C．反应体系中不再产生气泡时，可判定反应基本结束

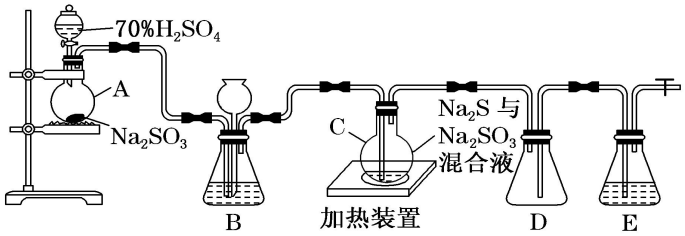
(6)反应结束后，在步骤II，加入冰水的作用是_____。

(7)步骤III，从混合物 M_2 中得到 Z 粗产物的所有操作如下，_____→_____→加入无水 Na_2SO_4 干燥剂吸水→_____→_____。请排序_____(填序号)。

①减压蒸馏 ②用乙醚萃取、分液 ③过滤 ④再次萃取、分液，合并有机相

(8)$AlCl_3$ 可促进氯苯与 $SOCl_2$ 反应中 S-Cl 键的断裂，原因是_____。

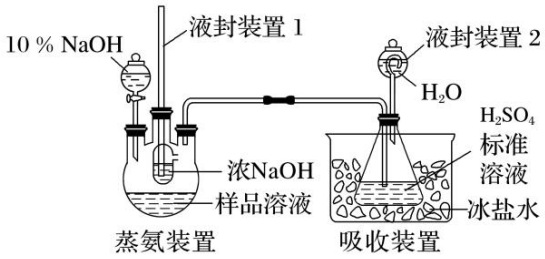
4.工业上常利用含硫废水生产 $Na_2S_2O_3·5H_2O$ 实验室可用如下装置(略去部分夹持仪器)模拟生产过程：



仪器组装完成后，检验装置气密性的方法是_____，

装置 B 的作用：_____，装置 D 的作用：_____。

5.用如图装置测定某$[Co(NH_3)_6]Cl_3$样品中NH_3的含量(部分装置已省略)：

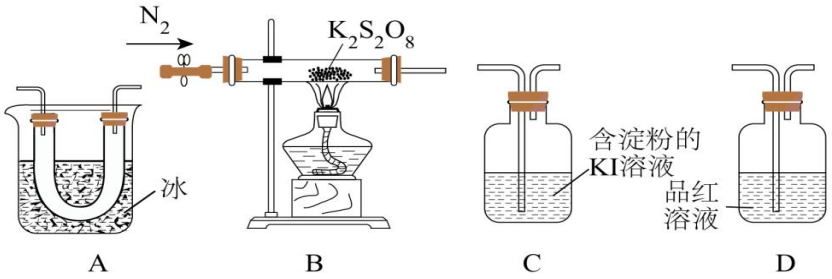


取m g样品加入过量试剂后，加热三颈烧瓶，蒸出的NH_3通入盛有V_1 mL c_1 mol·L^{-1} H_2SO_4标准溶液的锥形瓶中，①液封装置1的作用是_____，②液封装置2的作用是_____。

6．过二硫酸钾($K_2S_2O_8$)为白色晶体，是一种重要的化工原料，某实验小组设计实验探究$K_2S_2O_8$受热分解的气体产物，并计算过二硫酸钾晶体样品纯度。

已知：SO_2熔点为-75.5℃，常温下为气体；SO_3熔点为16.8℃，常温下为液体，冷却后形成的固体颗粒间存在缝隙。

I．探究$K_2S_2O_8$受热分解产生的气体产物，需要用到的装置如图所示：



(1)过二硫酸钾($K_2S_2O_8$)中硫元素显_____价，完成该实验从左到右的连接顺序为_____(填标号，下同)→_____→_____→_____→尾气处理装置。

(2)通入氮气的作用是_____，取适量的$K_2S_2O_8$装入硬质玻璃管中，点燃酒精灯加热，U形管中收集到SO_3的现象是_____。

热点题空2　实验装置、试剂的作用

【高考必备知识】

1．化学实验中常见装置的作用

装置	作用
有机物制备装置中长导管(或冷凝管)	冷凝回流、导气
有机物分离提纯过程中加无水氯化钙(无水硫酸镁等)	干燥(除水)
气压平衡装置(长颈漏斗)	平衡气压、防堵塞
水浴、油浴	使反应物受热均匀，便于控制温度，防止温度过高，会造成××挥发(分解)
配制溶液前先煮沸	除去溶解在水中的氧气，防止××物质被氧化

反应物配比	①控制恰好完全反应，确保获得的物质纯净； ②控制某种反应物过量，提高另一种物质的转化率
冷凝回流	防止××蒸气逸出脱离反应体系，提高××物质的转化率
粉碎或研磨	增大××的接触面积，使反应快速、充分进行
温度计的使用方法	蒸馏时温度计的液泡置于蒸馏烧瓶的支管口处，测馏分的温度； 制乙烯时温度计的液泡置于反应液液面以下(不能接触瓶底)，测定反应液的温度

2．化学实验中常见试剂的作用

试剂	作用
浓硫酸	催化、吸水、脱水、酸化、强氧化剂
氢氧化钠	调节 pH、吸收酸性气体
饱和氯化钠溶液	除杂、使平衡移动、增强溶剂极性
乙醇	溶剂、反应物、降低水的极性
氮气	作保护气
维生素 C、锌粒、铁粉	抗氧化剂

3．化学实验中常见除杂

(1)气体除杂

原物质	所含杂质	除杂试剂	操作方法
N_2	O_2	灼热的铜丝网	用固体转化气体
CO_2	H_2S	$CuSO_4$ 溶液	洗气
CO	CO_2	NaOH 溶液	洗气
CO_2	CO	灼热的 CuO	用固体转化气体
CO_2	HCl	饱和 $NaHCO_3$ 溶液	洗气
H_2S	HCl	饱和 NaHS 溶液	洗气
SO_2	HCl	饱和 $NaHSO_3$ 溶液	洗气
CO_2	SO_2	饱和 $NaHCO_3$ 溶液	洗气
Cl_2	HCl	饱和 NaCl 溶液	洗气
CH_4	CH_2=CH_2	溴水	洗气
乙烯	SO_2、H_2O	碱石灰	加固体转化法
乙烷	CH_2=CH_2	溴水	洗气
溴苯	Br_2	稀 NaOH 溶液	分液
甲苯	苯酚	NaOH 溶液	分液
乙醛	乙酸	饱和 Na_2CO_3 溶液	蒸馏
乙醇	水(少量)	新制 CaO	蒸馏
苯酚	苯	NaOH 溶液、过量 CO_2	分液

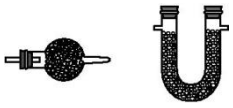
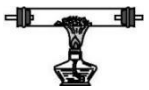
(2)固体的除杂(或提纯)

原物质	所含杂质	除杂试剂	操作方法
炭粉	MnO_2	浓盐酸(需加热)	过滤
MnO_2	炭粉	空气	加热灼烧
炭粉	CuO	稀酸(如稀盐酸)	过滤
CuO	Fe	磁铁	磁力吸引
Al_2O_3	Fe_2O_3	NaOH 溶液(过量)、CO_2	过滤、灼烧
Fe_2O_3	Al_2O_3	过量 NaOH 溶液	过滤
Al_2O_3	SiO_2	盐酸、氨水	过滤、灼烧
$BaSO_4$	$BaCO_3$	盐酸或稀硫酸	过滤
I_2 晶体	NaCl	—	加热升华
NaCl 晶体	NH_4Cl	—	加热分解
CuS	FeS	稀盐酸	过滤
Na_2CO_3	$NaHCO_3$	—	加热

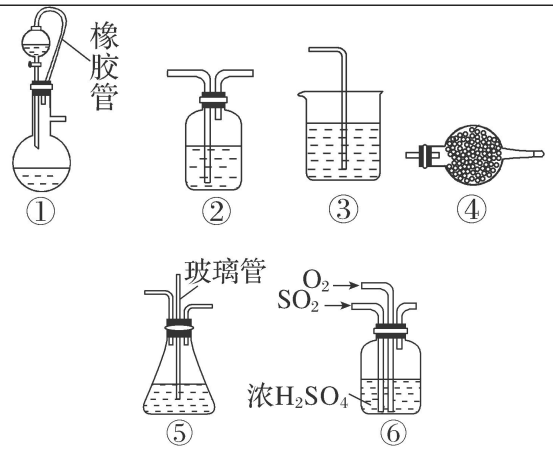
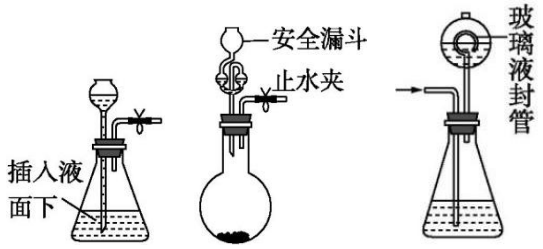
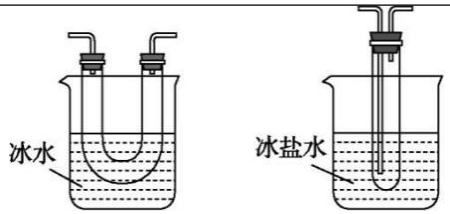
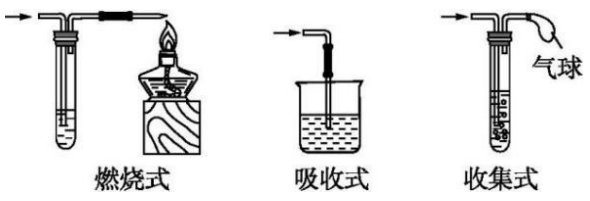
(3)盐溶液中的除杂(或提纯)

原物质	所含杂质	除杂试剂	操作方法
$NaHCO_3$ 溶液	Na_2CO_3	过量 CO_2	加酸转化法
NaCl 溶液	$NaHCO_3$	适量 HCl	加酸转化法
$FeCl_3$ 溶液	$FeCl_2$	Cl_2	加氧化剂转化法
$FeCl_2$ 溶液	$FeCl_3$	过量的 Fe 粉(过滤)	加还原剂转化法
KNO_3 溶液	NaCl	—	重结晶
$Fe(OH)_3$ 胶体	$FeCl_3$	蒸馏水(半透膜)	渗析

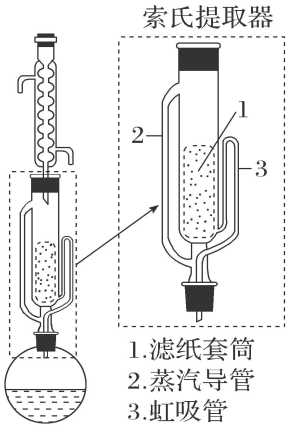
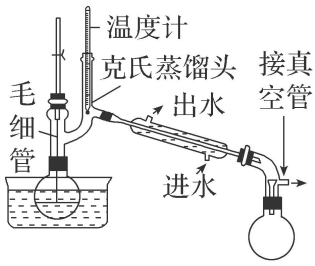
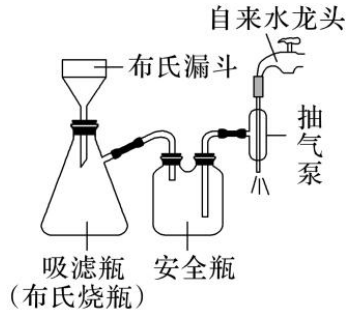
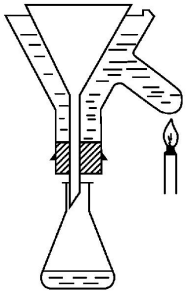
4．化学实验中常见的干燥、净化装置

项目	液态干燥剂	固态干燥剂		固体，加热
使用装置				
选用干燥剂或药品	浓硫酸(酸性)	无水氯化钙(中性)	碱石灰(碱性)	除杂试剂(Cu、CuO)
可干燥气体	H_2、O_2、Cl_2、SO_2、CO_2、CO、CH_4、N_2 等	H_2、O_2、Cl_2、SO_2、CO、CO_2、CH_4 等	H_2、O_2、CO、N_2、CH_4、NH_3 等	可除去 O_2、H_2、CO 等
不能干燥气体	NH_3、HBr、HI、H_2S 等	NH_3	Cl_2、SO_2、CO_2、NO_2、HCl 等	—

5．常考的其他实验装置作用汇总

实验装置	主要作用
	①中橡胶管：平衡压强，使液体能顺利滴下；降低液体体积对气体体积测量的干扰 ②干燥或除去气体中的杂质 ③吸收尾气，防止污染空气 ④干燥气体或吸收气体；防止空气中二氧化碳、水蒸气对实验的影响 ⑤安全瓶，防止瓶内压强过大 ⑥混合气体；干燥气体；通过观察气泡速率控制流量
	液封，防止××气体逸出
	冷却××，便于分离/收集
	防堵塞
	尾气处理，防空气污染

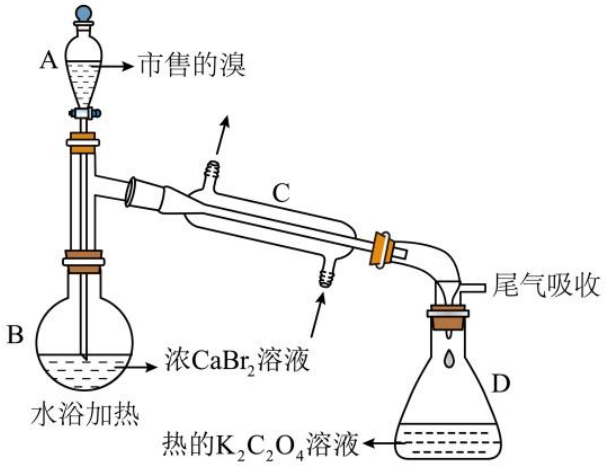
6．特殊实验装置的分析应用

装置	装置图	装置说明
索氏提取装置		将粉末状固体置于滤纸套筒内，烧瓶中溶剂(萃取剂)受热蒸发，蒸汽沿蒸汽导管上升至球形冷凝管，冷凝后滴入滤纸套筒中，与粉末状固体接触，进行萃取。萃取液液面达到虹吸管顶端时，经虹吸管返回烧瓶，从而实现对粉末状固体的连续萃取。
减压蒸馏装置		又称真空蒸馏，是分离和提纯有机化合物的一种重要方法，可降低组分的沸点，降低蒸馏温度，适用于高沸点物质和受热易分解、氧化或聚合的物质的分离和提纯。 应用常压蒸馏时常加入沸石，能起到防止暴沸的作用。而在减压蒸馏装置中，不能加入沸石，应通过控制毛细管上的活塞来调节空气的流量，使极少量空气进入液体，而产生微小气泡，形成液体沸腾的气化中心，起到防止液体暴沸的作用。
减压过滤装置		也称抽滤，可加速过滤，并使沉淀抽吸得较干燥，但不宜过滤胶状沉淀和颗粒太小的沉淀。 循环水真空泵使吸滤瓶内减压，由于瓶内与布氏漏斗液面上形成压力差，因而加快了过滤速度；布氏漏斗上有许多小孔，滤纸应剪成比漏斗的内径略小，但又能把瓷孔全部盖住的大小。用少量水润湿滤纸，开泵，减压使滤纸与漏斗贴紧，然后开始过滤。当停止吸滤时，需先拔掉连接吸滤瓶和泵的橡胶管，再关泵，以防倒吸。为了防止倒吸现象，一般在吸滤瓶和泵之间，装上一个安全瓶。
趁热过滤装置		趁热过滤指将温度较高的固液混合物直接使用常规过滤操作进行过滤，但是由于常规过滤操作往往耗时较长，这样会导致在过滤过程中因混合物温度降低而使溶质析出，影响分离效果。因此可使用热过滤仪器、将固液混合物的温度保持在一定范围内进行过滤，所以又称为热过滤。 保温漏斗（热漏斗）由金属(铜)夹套组成。将单层玻璃漏斗置于铜夹套内，由铜夹套的注水口注入水、并通过使用酒精灯对加热处进行加热，达到使金属夹套中的水升温、间接加热漏斗中混合物来保持过滤在一定温度下进行。

【题组训练】

1.(2024·河北卷)市售的溴(纯度 99%)中含有少量的 Cl_2 和 I_2，某化学兴趣小组利用氧化还原反应原理，设计实验制备高纯度的溴。回答下列问题：

(1)装置如图(夹持装置等略)，将市售的溴滴入盛有浓 $CaBr_2$ 溶液的 B 中，水浴加热至不再有红棕色液体馏出。$CaBr_2$ 溶液的作用为_____；D 中发生的主要反应的化学方程式为_____

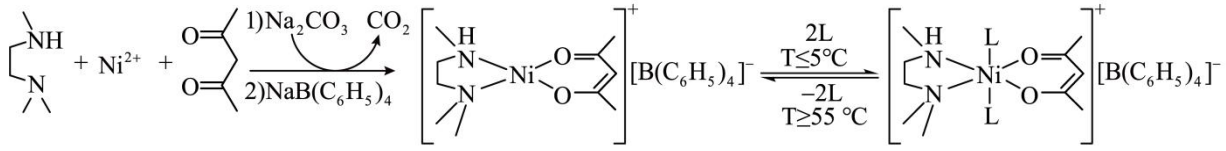


(2)将 D 中溶液转移至_____(填仪器名称)中，边加热边向其中滴加酸化的 $KMnO_4$ 溶液至出现红棕色气体，继续加热将溶液蒸干得固体 R。该过程中生成 I_2 的离子方程式为_____。

(3)利用图示相同装置，将 R 和 $K_2Cr_2O_7$ 固体混合均匀放入 B 中，D 中加入冷的蒸馏水。由 A 向 B 中滴加适量浓 H_2SO_4，水浴加热蒸馏。然后将 D 中的液体分液、干燥、蒸馏，得到高纯度的溴。D 中蒸馏水的作用为_____和_____。

(4)本实验所用钾盐试剂均经重结晶的方法纯化。其中趁热过滤的具体操作为漏斗下端管口紧靠烧杯内壁，转移溶液时用_____，滤液沿烧杯壁流下。

2．(2024·江西卷)一种可用于温度传感的红色配合物 Z，其制备实验步骤及传感原理如图(反应物均按化学计量数之比进行投料)：



X　　HY　　Z(红色)　　W(蓝绿色)

I. 将 $Ni(NO_3)_2•6H_2O$ 和去离子水加入圆底烧瓶中，搅拌至完全溶解，再依次加入乙酰丙酮(HY)、无水 Na_2CO_3 和 N，N，N'－三甲基乙二胺(X)溶液，继续搅拌 5min；

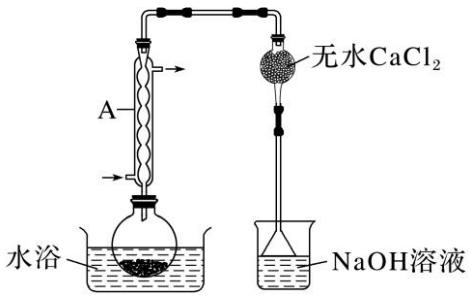
II．加入 $NaB(C_6H_5)_4$ 溶液，立即生成红色沉淀，室温下继续反应 35min；

III．减压过滤，用去离子水洗涤 3 次，烘干，重结晶，得到配合物 Z；

IV．室温下，将适量 Z 溶于丙酮(L)，温度降至 15℃，溶液经混合色逐渐转为蓝绿色，得配合物 W 的溶液。

步骤I中，加入 Na_2CO_3 的目的是_____。

3．由 $FeCl_3·6H_2O$ 制备无水 $FeCl_3$：将 $FeCl_3·6H_2O$ 与液体 $SOCl_2$ 混合并加热，制得无水 $FeCl_3$。已知 $SOCl_2$ 沸点为 77 ℃，反应方程式为 $FeCl_3·6H_2O+6SOCl_2\overset{\triangle}{=\!=\!=}FeCl_3+6SO_2\uparrow+12HCl\uparrow$，装置如图所示(夹持和加热装置略)

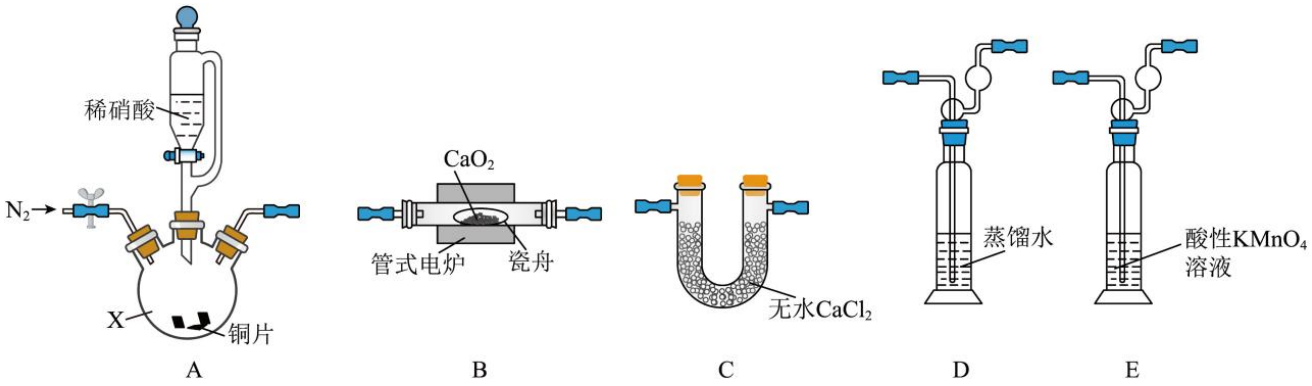


(1)仪器 A 的名称为_____，其作用为_____。

NaOH 溶液的作用是_____。

(2)干燥管中无水 $CaCl_2$ 不能换成碱石灰，原因是_____。

4．亚硝酸钙[$Ca(NO_2)_2$]可作为混凝土防冻剂和钢筋阻锈剂的主要原料。某兴趣小组根据反应 $2NO+CaO_2\overset{\Delta}{\triangleq}Ca(NO_2)_2$，利用如下装置(部分装置可重复选用)制备无水亚硝酸钙。



已知：①$Ca(NO_2)_2$ 熔点为 390℃，易潮解，易溶于水；②NO 能被酸性 $KMnO_4$ 溶液氧化；

③$2NO_2^-+4H^++2I^-=I_2+2NO\uparrow+2H_2O$。

回答下列问题：

(1)仪器 X 的名称是_____，装置连接顺序为：A→_____(填标号)。

(2)装置 A 中发生的化学反应方程式为_____。

(3)装置 D 的作用是_____。

(4)下列说法正确的是_____。

A．恒压滴液漏斗的作用是使稀硝酸顺利滴下并减少稀硝酸挥发

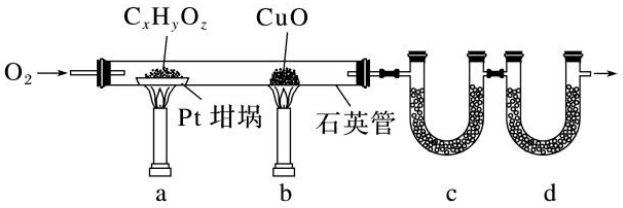
B．反应前后通氮气的作用相同

C．装置 C 中的无水 $CaCl_2$ 可以用硅胶代替

D．可用淀粉 KI(酸性)溶液检验产品中混有的 $Ca(NO_3)_2$

(5)装置 E 中发生的离子方程式为_____。

5.元素分析是有机化合物的表征手段之一。按下图实验装置(部分装置略)对有机化合物 C、H 元素分析。



回答下列问题：

(1)将装有样品的 Pt 坩埚和 CuO 放入石英管中，先_____，而后将已称重的 U 型管 c、d 与石英管连接，检查_____。依次点燃煤气灯_____，进行实验。

(2)O_2 的作用有_____，CuO 的作用是_____(举 1 例，用化学方程式表示)

(3)c 和 d 中的试剂分别是_____、_____(填标号)。c 和 d 中的试剂不可调换，理由是_____。

A．$CaCl_2$　　B．NaCl　　C．碱石灰(CaO＋NaOH)　　D．Na_2SO_3

(4)Pt 坩埚中样品 C*x*H*y*O*z* 反应完全后，应进行操作：_____。取下 c 和 d 管称重。

6.无患子皂苷是化妆品及生物洗涤剂的良好原料。从无患子果皮中提取无患子皂苷的实验步骤如下：

步骤 1：连接如图I所示的装置(固定及加热类仪器省略)，将 20 g 无患子果皮置于索氏提取管中，圆底烧瓶中加入一定量 80%的酒精，保持在 90 ℃加热 4 小时。

步骤 2：将图I装置中的提取液减压过滤，除去无患子果皮残渣。并将所得滤液蒸馏，乙醇完全蒸出后得到固体粗提物。

步骤 3：用正丁醇反复萃取固体粗提物，合并萃取液，并将所得萃取液蒸馏，正丁醇完全蒸出后得到固体无患子皂苷样品。

步骤 4：将无患子皂苷样品真空干燥。

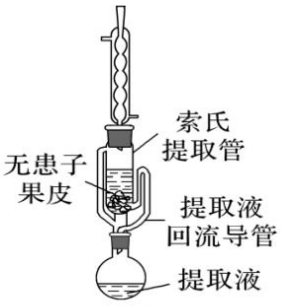


图 I

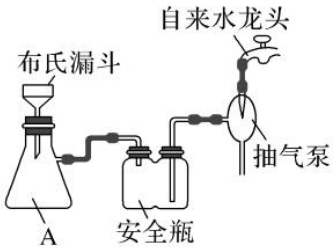


图 II

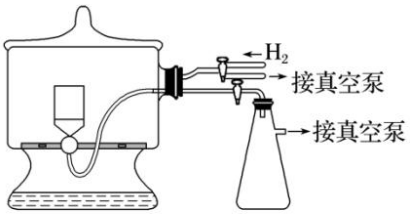


图 III 真空干燥装置

(1)步骤 1 实验装置中冷凝管的作用是_____。

保持在 90 ℃加热所需用到的玻璃仪器除酒精灯外，还有_____。

(2)有关图II所示的减压过滤装置，下列说法正确的是_____

A．抽滤完毕，应先拆下连接抽气泵和吸滤瓶的橡胶管，再关闭水龙头，最后将滤液从吸滤瓶上口倒出

B．在布氏漏斗中放入滤纸后，直接用倾析法转移溶液和沉淀，再打开水龙头抽滤

C．在抽滤装置中洗涤晶体时，为减少晶体溶解损失，应使洗涤剂快速通过滤纸

D．减压过滤不宜用于过滤胶状或颗粒太小的沉淀

若过滤时发现有大量滤渣掉落，可能的原因是_____。

(3)步骤 4 中采用图III真空干燥而不直接烘干的原因可能是_____。

热点题空 3　实验条件的多维控制

【高考必备知识】

1．温度控制

(1)加热方式：直接加热、间接加热(隔陶土网加热、水浴加热和油浴加热)

(2)控制温度的目的：提高反应速率、提高产率和转化率、减少副反应、提高产品纯度

①加热的目的：加快反应速率或促进平衡向某个方向(一般是有利于生成物生成的方向)移动

②降温的目的：防止某物质在高温时分解或使化学平衡向某方向移动

③控制温度在一定范围内进行的目的：

a．若温度过低，则反应速率(或溶解速率)较慢

b．若温度过高，某些物质会分解(如 H_2O_2、NH_4HCO_3、草酸、浓硝酸)或××物质挥发(如氨水、浓硝酸、浓盐酸)或××物质氧化(如 Na_2SO_3 等)或促进××物质水解(如 $AlCl_3$ 等)

④冰水冷却的目的

a．使某物质液化、降低产物的溶解度

b．减少其他副反应，提高产品纯度

c．防止某物质分解或挥发

⑤水浴加热的好处：受热均匀，温度可控，且温度不超过 100 ℃

⑥趁热过滤的原因：保持过滤温度，防止温度降低后某物质析出

2．溶液 pH 控制的目的

①调节溶液的酸碱性，抑制水解(或使其中某些金属离子形成氢氧化物沉淀)

②“酸作用”还可除去氧化物(膜)

③“碱作用”还可除去油污，除去铝片氧化膜，溶解铝、二氧化硅等

④特定的氧化还原反应需要的酸性条件(或碱性条件)，如一般酸性条件可以提高氧化性

3．排气方法及作用

(1)防氧化、防水解

为了防止空气的成分氧气、CO_2、水蒸气干扰实验，常用其他稳定的气体(如氮气)排尽装置中的空气；有时也可充分利用反应物气体(如：氨气、氯气、二氧化硫)等排尽装置中的空气。

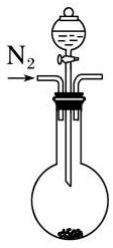
(2)定量测定气体

实验中为了充分吸收某种需分析或测定的气体，常用其他稳定的气体(如氮气)作载气；有时也可充分利用反应物气体(如氧气)作载气，将生成的气体压入指定的吸收装置中。

【例题】实验中为了排尽空气、充分吸收某种气体、降低某种气体的浓度，常用性质稳定的气体——氮气作载气。

回答右图装置在下列不同情况下氮气的作用：

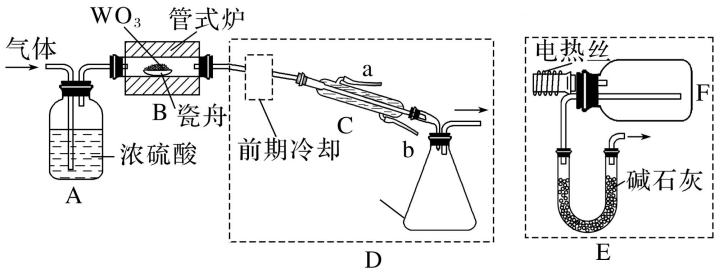
①若需测定该装置中生成的气体的质量，而系统内的空气干扰气体的测定，则实验前，通 N_2 的作用是_____；实验后，通 N_2 的作用是_____。



②若生成的气体在浓度高时容易发生爆炸，则 N_2 的作用是_____。

【题组训练】

1. 六氯化钨(WCl_6)可用作有机合成催化剂，极易水解。实验室中，先将三氧化钨(WO_3)用氢气还原为金属钨再制备 WCl_6，装置如图所示(夹持装置略)：



	W	WO_3	WCl_6
颜色	银白色	黄色	蓝色
熔点/℃	3 422	1 473	275
沸点/℃	5 660	1 750	347

已知相关物质的性质如右表所示：

完成下列填空：

(1)检查装置气密性并加入 WO_3。先通 N_2，其目的是_____

(2)一段时间后，加热管式电炉，以一定速率通入 H_2，升温至 1 000 ℃，并对装置末端逸出的 H_2 进行后续处理。装置 A 的作用除干燥气体外，还能_____；C 中冷却水从_____(填“a”或“b”)口通入；反应过程中，B 中的现象是_____，WO_3 完全还原后，进行的操作为①冷却，停止通 H_2；②以 E 替换 D，在硬质玻璃管末端缠上电热丝；③……；④加热至 1 000 ℃，通 Cl_2，同时将电热丝温度保持在 350 ℃；……

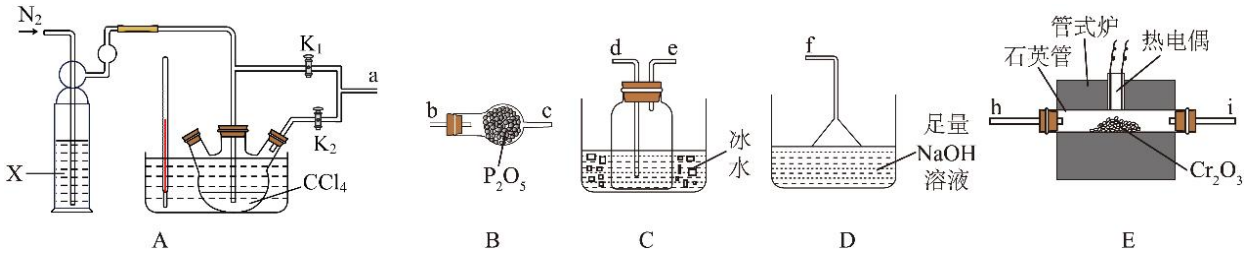
(3)操作③必不可少，否则可能会导致危险事故，该操作是_____。

(4)制备 WCl_6 的化学方程式为_____，在制备过程中保持电热丝温度在 350 ℃的作用是_____。

(5)U 形管中碱石灰的作用是_____。

2．三氯化铬($CrCl_3$)可用作媒染剂和催化剂，易水解，650℃以上升华，高温下易氧化。某学习小组在实验室中用 Cr_2O_3 和 CCl_4 制备无水 $CrCl_3$ 并测定产品纯度，进行如图实验探究，回答下列问题：

I．制备无水($CrCl_3$)



已知 ：①制备 $CrCl_3$ 过程中，同时产生 $COCl_2$，$COCl_2$ 常温下为气体，有毒，水解可产生两种酸性气体。②碱性条件下，H_2O_2 可将 Cr^{3+} 氧化为 CrO_4^{2-}；酸性条件下 H_2O_2 可将 $Cr_2O_7^{2-}$ 还原为 Cr^{3+}(绿色)。

(1)实验装置合理的连接顺序为 a→ _____(填仪器接口字母标号，仪器不可重复使用)；试剂 X 可以选择_____(填字母)。

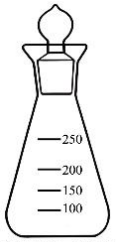
A．浓硫酸　　B．氢氧化钠溶液　　C．无水 CCl_4

(2)从安全的角度考虑，整套装置的不足之处是_____。

(3)装置 D 中反应的离子方程式为_____。

(4)实验过程中最后一次通 N_2 的目的是_____(写出两点)。

II．测定产品纯度(杂质不参加反应)

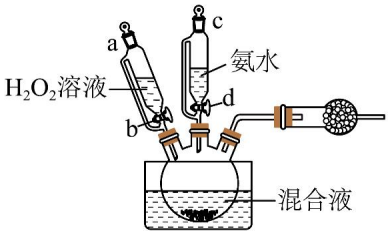


碘量瓶示意图

取三氯化铬样品 mg，配制成 250mL 溶液。移取 25.00mL 于碘量瓶中，在强碱性条件下，加入过量的 30%H_2O_2溶液，小火加热使 $CrCl_3$ 完全转化为 CrO_4^{2-}，继续加热一段时间。冷却后，加入 2mol/L H_2SO_4 酸化，充分作用后，再加入足量 KI 溶液，加塞摇匀充分反应后，铬元素只以 Cr^{3+} 存在，暗处静置 5min 后，加入指示剂，用 c mol/L 标准 $Na_2S_2O_3$ 溶液滴定至终点消耗标准 $Na_2S_2O_3$ 溶液 V mL。(已知：$2Na_2S_2O_3+I_2=Na_2S_4O_6+2NaI$)

(5)继续加热一段时间再进行后续操作，目的是_____。若不进行此操作，则样品中无水三氯化铬质量分数的测量结果将_____(填“偏高”、“偏低”或“无影响”，下同)，若将碘量瓶换为锥形瓶，则样品中无水三氯化铬质量分数的测量结果将_____。

3．已知三氯化六氨合钴$[Co(NH_3)_6]Cl_3$为橙黄色晶体易溶于热水，在冷水中微溶，可在氯化铵和氨水的混合溶液中活性炭做催化剂条件下，利用双氧水氧化 $CoCl_2$ 制备，制备装置如图所示。已知：Co^{2+}在溶液中较稳定，$[Co(NH_3)_6]^{2+}$具有较强还原性。



I．制备产品，步骤如下：

①称取 1.0gNH_4Cl 固体，用 5mL 水溶解，加到三颈烧瓶中。

②分批加入 1.5 g $CoCl_2$ 后，再加入 0.3g 活性炭、一定体积的浓氨水和双氧水。

③加热至 55-60℃反应 20min，冷却，过滤。

④向滤渣中加入 80℃左右的热水，充分搅拌后，趁热过滤。

⑤向滤液加入少量甲，冷却结晶后过滤，用乙洗涤晶体 2~3 次，低温干燥得到橙黄色晶体。

回答下列问题：

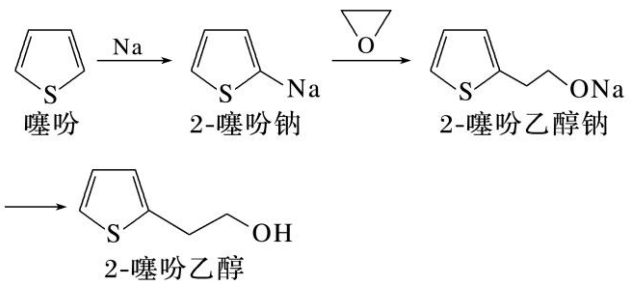
(1)向混合液加入 H_2O_2 溶液与氨水时，应最先打开活塞_____(填字母代号)；加入所有试剂后，水浴的温度控制在 55-60℃左右，原因是_____；干燥管中试剂为_____。

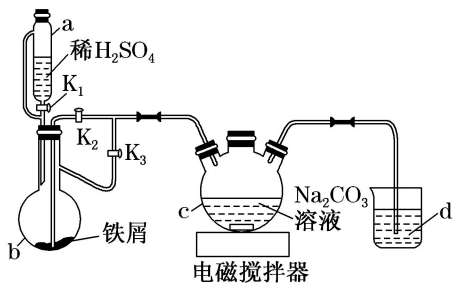
(2)步骤④中趁热过滤的目的是_____。

(3)步骤⑤中关于甲、乙溶液的选择合理的是_____(填标号)。

A．甲为浓盐酸，乙为水　　B．甲为乙醇，乙为水　　C．甲为浓盐酸，乙为乙醇

4. (2023·辽宁)2-噻吩乙醇是抗血栓药物氯吡格雷的重要中间体，其制备方法如下：





I.制钠砂。向烧瓶中加入 300 mL 液体 A 和 4.60 g 金属钠，加热至钠熔化后，盖紧塞子，振荡至大量微小钠珠出现。

II.制噻吩钠。降温至 10 ℃，加入 25 mL 噻吩，反应至钠砂消失。

III.制噻吩乙醇钠。降温至-10 ℃，加入稍过量的环氧乙烷的四氢呋喃溶液，反应 30 min。

IV.水解。恢复室温，加入 70 mL 水，搅拌 30 min；加盐酸调 pH 至 4~6，继续反应 2 h，分液；用水洗涤有机相，二次分液。

V.分离。向有机相中加入无水 $MgSO_4$，静置，过滤，对滤液进行蒸馏，蒸出四氢呋喃、噻吩和液体 A 后，得到产品 17.92 g。

(1)步骤I中液体 A 可以选择_____。

a.乙醇　　b.水　　c.甲苯　　d.液氨

(2)步骤III中反应放热，为防止温度过高引发副反应，加入环氧乙烷溶液的方法是_____

_____。

(3)步骤IV中用盐酸调节 pH 的目的是_____。

热点题空 4　实验操作目的、实验现象的精准描述

【高考必备知识】

1．描述“实验现象”的答题规范

(1)现象描述的答题模板

有关溶液的现象描述(五大类)	a．颜色由×××变成××× b．液面上升或下降(形成液面差) c．溶液变浑浊或生成(产生)……(颜色)沉淀 d．溶液发生倒吸 e．产生大量气泡(或有气体从溶液中逸出)等
有关固体物质的现象描述(四大类)	a．……(固体)表面产生大量气泡 b．……(固体)逐渐溶解 c．……(固体)体积逐渐变小(变细) d．……(固体)颜色由……变成……
有关气体的现象描述(三大类)	a．生成……色(味)气体 b．气体由……色变成……色 c．气体先变……后……(加深、变浅、褪色等)

(2)现象描述时的注意事项

①现象描述要全面：看到的、听到的、摸到的、闻到的

②要注重对本质现象的观察：本质现象就是揭示事物本质特征的现象。如镁带在空气中燃烧时“生成白色固体”是本质现象，因为由此现象可正确理解化学变化这个概念，而发出“耀眼的白光”则是非本质现象。因此，观察实验现象要有明确的观察目的和主要的观察对象

③现象描述要准确

a．如 A 试管中……，B 处观察到……

b．不能以结论代替现象。如铁丝在氧气中燃烧的实验现象是“火星四射，放出大量的热，生成黑色固体”，而不能用结论“生成四氧化三铁”代替“生成黑色固体”

④格式要正确：按“现象＋结论”的模式描述，不能“以结论代替现象”，忌结论现象不分

⑤汉字使用规范：如“溢出”“逸出”，注意“光”和“火焰”“烟”和“雾”等区别

2．描述“操作或措施”的答题规范

(1)从溶液中得到晶体：蒸发浓缩→冷却结晶→过滤→洗涤(包括水洗、冰水洗、热水洗、乙醇洗等)→干燥

(2)蒸发结晶：将溶液转移到蒸发皿中，加热并用玻璃棒不断搅拌，待有大量晶体出现时停止加热，利用余热将剩余水分蒸干

(3)测定溶液 pH：取一小块 pH 试纸放在表面皿或玻璃片上，用蘸有待测液的玻璃棒点在(或用胶头滴管吸取待测液滴在)试纸中部，观察试纸颜色变化，并与标准比色卡对比，读出对应的 pH

(4)证明沉淀完全(或沉淀剂是否过量的判断方法)：静置，取上层清液少量于试管中，继续加入××试剂(沉淀剂)，若无沉淀生成，说明沉淀完全

(5)洗涤沉淀：沿玻璃棒向漏斗(过滤器)中加蒸馏水至浸没沉淀，待水自然流下后，重复实验 2～3 次

(6)检验沉淀是否洗涤干净：取最后一次洗涤液少量于试管中，加入××试剂(根据沉淀可能吸附的杂质离子，选择合适的检验试剂)，若没有××出现(特征现象)，证明沉淀已洗涤干净

如：在测定 Na_2SO_4 和 NaCl 的混合物中 Na_2SO_4 的质量分数时，可以在混合物中加入过量 $BaCl_2$ 溶液，沉淀 SO_4^{2-}，然后过滤、洗涤、烘干、称量得到 $BaSO_4$ 的质量，试问：怎样判断沉淀是否洗净？

取最后一次洗涤液少量于试管中，加入稀 HNO_3 酸化的 $AgNO_3$ 溶液，若无白色沉淀产生则证明沉淀已洗净

(7)滴定终点溶液颜色变化的判断：当滴入最后半滴×××标准溶液后，溶液由×××色变成×××色(或溶液×××色褪去)，且半分钟内不变色

如：用标准盐酸滴定未知浓度的氢氧化钠溶液，酚酞作指示剂，滴定终点的判断：当加入最后半滴标准盐酸后，溶液由浅红色变为无色，且半分钟内不恢复原来的颜色

(8)焰色试验：铂丝 $\xrightarrow[\text{灼烧}]{\text{酒精灯}}$ 无色 $\xrightarrow{\text{灼烧}}$ 待测物 $\xrightarrow[\text{灼烧}]{\text{酒精灯}}$ 观察火焰颜色 $\xrightarrow[\text{洗涤}]{\text{用盐酸}}$ 铂丝 $\xrightarrow[\text{灼烧}]{\text{酒精灯}}$ 无色

(9)分液漏斗查漏：加水，观察分液漏斗旋塞是否漏水，盖上上口瓶塞，倒置，看是否漏水，旋转分液漏斗旋塞 180°，观察是否漏水，正放后旋转分液漏斗上口瓶塞 180°，再倒置，观察是否漏水，如果均不漏水，说明分液漏斗不漏水

(10)萃取分液：关闭分液漏斗旋塞，将混合液倒入分液漏斗中，塞上瓶塞，用右手心顶住瓶塞，左手握住旋塞部分，将分液漏斗倒置，充分振荡、静置、分层，在漏斗下面放一个小烧杯，先打开上口瓶塞或使塞上的凹槽(或小孔)对准漏斗上的小孔，再打开分液漏斗旋塞，使下层液体从下口沿烧杯壁流下，流完后关闭旋塞，上层液体从上口倒出

(11)容量瓶查漏：向容量瓶中加适量水，塞紧瓶塞，用手指顶住瓶塞，倒立，用吸水纸检查是否有水珠渗出；如果不漏，再把塞子旋转 180°，塞紧，倒置，用同样方法检查

(12)滴定管查漏

酸式滴定管	关闭旋塞，向滴定管中加入适量水，用滴定管夹将滴定管固定在铁架台上，观察是否漏水，若 2 分钟内不漏水，将旋塞旋转 180°，重复上述操作

碱式滴定管	向滴定管中加入适量水，用滴定管夹将滴定管固定在铁架台上，观察是否漏水，若 2 分钟内不漏水，轻轻挤压玻璃球，放出少量液体，再次观察滴定管是否漏水

(13)滴定管排气泡

酸式滴定管	右手将滴定管倾斜 30°左右，左手迅速打开活塞使溶液流出，从而使溶液充满尖嘴
碱式滴定管	将胶管弯曲使玻璃尖嘴向上倾斜，用两指捏住胶管，轻轻挤压玻璃球，使溶液从尖嘴流出，即可排出碱式滴定管中的气泡

(14)滴定：滴定时，左手控制滴定管活塞，右手振荡锥形瓶，眼睛注视锥形瓶内溶液颜色的变化

(15)量气管读数：恢复到室温，量气管两端液面相平，视线与量气管凹液面最低点相平

(16)装置气密性检查

微热法检查气密性	封闭(关闭活塞，导管末端插入盛水的烧杯中等)→微热(双手焐热或用酒精灯微热)→气泡(导管口有气泡冒出)→水柱(移开双手或停止加热冷却后，导管中水上升形成一段稳定的水柱)→结论(装置气密性良好)
液差法检查气密性	封闭(关闭活塞或用止水夹夹住橡皮管等)→液差(向×××容器中加水，使×××和×××形成液面差，停止加水，放置一段时间，液面差保持不变)→结论(装置气密性良好)

3．化学实验中常见操作的目的、作用或原因

(1)沉淀水洗的目的：除去××杂质(可溶于水)

(2)沉淀用乙醇洗涤的目的：①减小固体的溶解损失；②除去固体表面吸附的杂质；③乙醇挥发带走水分，使固体快速干燥

(3)冷凝回流的作用及目的：防止××蒸气逸出而脱离反应体系，提高××物质的转化率

(4)沉淀的饱和溶液洗涤：减少沉淀的溶解损耗

(5)冰水洗涤：降低被洗涤物质的溶解度，减少其在洗涤过程中的溶解损耗，提高产品产率

(6)控制溶液 pH 的目的：防止××离子水解；防止××离子沉淀；确保××离子沉淀完全；防止××物质溶解等

(7)“趁热过滤”的目的：防止降温过程中杂质析出，提高产品的纯度

(8)温度不高于××℃的原因：温度过低反应速率较慢，温度过高××物质(如 H_2O_2、浓硝酸、NH_4HCO_3 等)分解或××物质(如浓硝酸、浓盐酸)挥发或××物质(如 Na_2SO_3 等)氧化或促进××物质(如 $AlCl_3$ 等)水解。

(9)加过量 A 试剂的原因：使 B 物质反应完全或提高 B 物质的转化率等

(10)加入氧化性试剂的目的：使××(还原性)物质转化为××物质

(11)减压蒸馏(减压蒸发)的原因：减小压强，使液体沸点降低，防止××物质(如 H_2O_2、浓硝酸、NH_4HCO_3 等)受热分解

(12)蒸发、反应时的气体氛围：抑制××离子的水解(如蒸发 $AlCl_3$ 溶液得无水 $AlCl_3$ 时需在 HCl 气流中进行，加热 $MgCl_2·6H_2O$ 得 $MgCl_2$ 时需在 HCl 气流中进行等)

(13)配制某溶液时事先煮沸水的原因：除去溶解在水中的氧气，防止某物质被氧化

(14)反应容器中和大气相通的玻璃管的作用：指示容器中压强大小，避免反应容器中压强过大

(15)加热的目的：加快反应速率或促进平衡向某个方向(一般是有利于生成目标产物的方向)移动

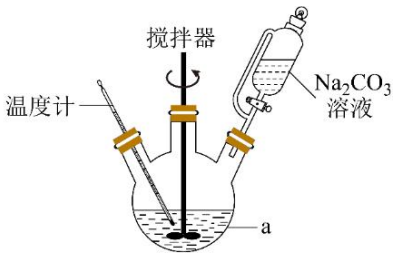
(16)用平衡移动原理解释某现象的原因：溶液中存在××平衡，该平衡是××(平衡反应的特点)，××(条件改变)使平衡向××方向移动，产生××现象

【题组训练】

1. 配合物乙二胺四乙酸铁钠(NaFeY)可溶于水，易风化，是常见的铁营养强化剂。其制备过程如下：

步骤 1：称取 mg $FeCl_3·6H_2O$ 于烧杯中，加水充分溶解，加入适量浓氨水后搅拌、过滤、洗涤、干燥。

步骤 2：将 $Fe(OH)_3$、乙二胺四乙酸(H_4Y)，水加入仪器 a 中，搅拌，80℃水浴反应 1h，加入 Na_2CO_3 溶液反应 10min，经过蒸发浓缩、冷却结晶，过滤、洗涤，晾干后得产品。



(1)仪器 a 的名称是_____。

(2)“步骤 1”中氨水应当_____(填“分批”或“一次性”)加入，原因是_____。

检验 $Fe(OH)_3$ 洗涤干净的方法是_____。

(3)“步骤 2”中加入碳酸钠溶液后可观察到产生大量气泡，则由 $Fe(OH)_3$ 生成 $NaFeY·3H_2O$ 的总反应化学方程式为_____，蒸发浓缩至_____(填现象)时，停止加热。

2.碳酸镧[$La_2(CO_3)_3$]能抑制人体内磷酸盐的吸收，降低体内血清磷酸盐和磷酸钙的水平，常用于慢性肾衰患者高磷血症的治疗。某课外小组成员进行实验探究 $La_2(CO_3)_3$ 的制备方法。

已知：①$La_2(CO_3)_3$ 难溶于水，易溶于盐酸，溶液 pH 较高时易生成碱式碳酸镧[$La(OH)CO_3$]。

②氯化镧($LaCl_3$)与易溶的碳酸盐或碳酸氢盐反应可制备 $La_2(CO_3)_3$。

I.利用氯化镧溶液与碳酸氢铵溶液制备碳酸镧(装置如图 1，其中夹持装置已略去)。

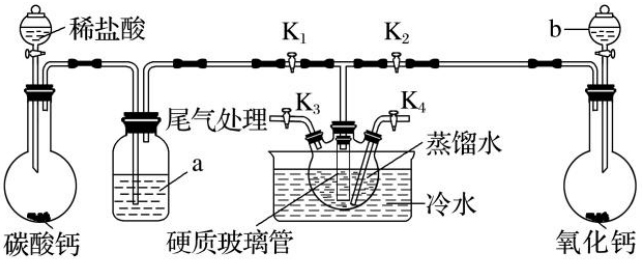


图 1（K_4 连接盛装氯化镧溶液的装置）

实验步骤如下：

i.连接好实验装置，检查装置的气密性，关闭 K_1、K_2、K_3 和 K_4。

ii.实验时应先打开活塞_____(填“K_1”或“K_2”)和 K_3，持续通入一段时间气体。

iii._____，继续通入一段时间另一种气体。

iv.……，最终制得碳酸镧沉淀。

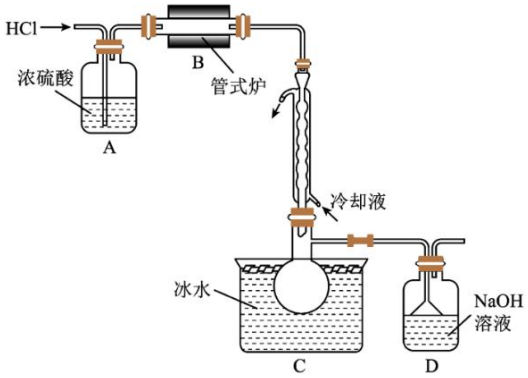
(1)试剂 b 的名称是_____，试剂 a 的作用是_____。装置中硬质玻璃管的作用是_____。

(2)将操作ii空白处补充完整：_____(填“K_1”或“K_2”)， 将操作iii空白处补充完整：_____。

(3)实验时，将三颈烧瓶放入冷水中的主要原因是_____。

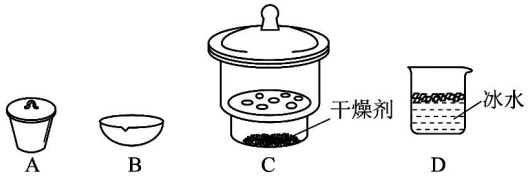
(4)氯化镧溶液与碳酸氢铵溶液反应的化学方程式为_____。

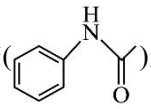
3.（2023·山东）三氯甲硅烷 ($SiHCl_3$)是制取高纯硅的重要原料，常温下为无色液体，沸点为 31.8℃，熔点为-126.5℃，易水解。实验室根据反应 $Si+3HCl \xrightarrow{\triangle} SiHCl_3+H_2$，利用如下装置制备 $SiHCl_3$ 粗品(加热及夹持装置略)。回答下列问题：



(1)制备 $SiHCl_3$ 时进行操作：(i)……；(ii)将盛有硅粉的瓷舟置于管式炉中；(iii)通入 HCl，一段时间后接通冷凝装置，加热开始反应。操作(i)为_____；判断制备反应结束的实验现象是_____。图示装置存在的两处缺陷是_____。

(2)采用如下方法测定溶有少量 HCl 的 $SiHCl_3$ 纯度：m_1 g 样品经水解、干燥等预处理过程得硅酸水合物后，进行如下实验操作：①_____，②_____(填操作名称)，③称量等操作，测得所得固体氧化物质量为 m_2 g，从下列仪器中选出①、②中需使用的仪器，依次为_____(填标号)。



4．乙酰苯胺()是一种常见的退热剂。实验室制备乙酰苯胺的实验步骤如下：

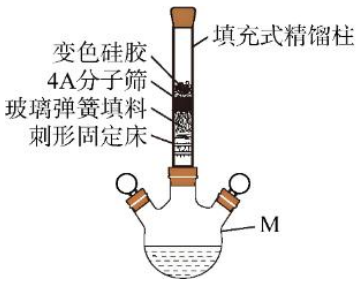
步骤 I：按图示安装好实验装置(夹持和加热装置略去)，在仪器 M 中加入 4.65 g 苯胺，6.0 g 乙酸和 0.1 g 锌粒，缓慢加热，控制温度在 105℃。

步骤II：当观察到“现象 X”，停止加热，趁热将反应液倒入 100 mL 冷水中搅拌，冷却、结晶、抽滤、洗涤、干燥，得到乙酰苯胺粗品。

步骤III：提纯粗乙酰苯胺。

已知：①相关物质的部分性质如下表：

物质名称	苯胺	乙酸	乙酰苯胺
相对分子质量	93	60	135
沸点	184℃	118℃	304℃
溶解性	微溶于水	易溶于水	难溶于冷水、易溶于热水，易溶于乙醇等有机溶剂
其它	易被氧化而变色		



②步骤 I 加热时蒸出的乙酸和水经玻璃弹簧填料分馏，乙酸回流至 M 中；

③4A 分子筛和变色硅胶均对水有很强吸附性，变色硅胶能根据所含氯化钴结晶水的数量显示不同颜色；

回答下列问题：

(1)制备过程中，仪器 M 的名称为_____；最适宜的加热方式为_____(填标号)。

a．水浴　　b．酒精灯　　c．油浴

(2)步骤 I 中加入锌粒的主要作用是_____，制备乙酰苯胺的化学方程式为_____。

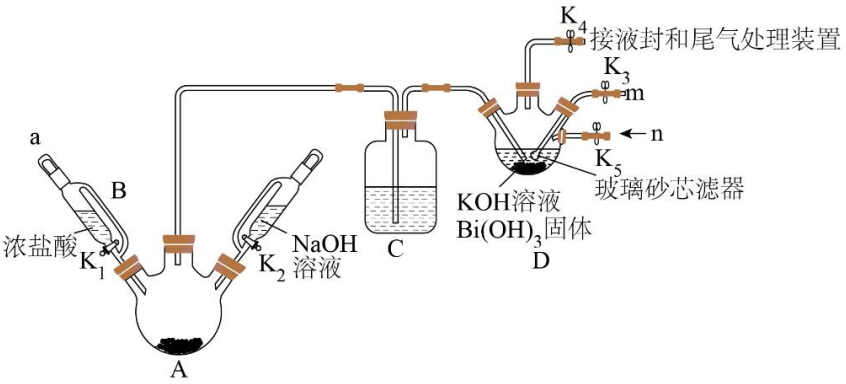
(3)步骤 I 中控制温度时，不宜低于 105℃的原因是_____。

(4)步骤II中的“现象 X”为_____。

(5)步骤III的操作顺序依次为：将粗产品加入 100 mL 水中加热完全溶解后，_____(填序号)，过滤后将所得滤渣烘干后称重。

①趁热过滤　②待滤液自然冷却至室温　③搅拌下加热沸腾 2~3 min　④加入 1 g 活性炭吸附有色杂质

5. 铋酸钾($KBiO_3$)不溶于乙醇，遇酸易分解。实验室用 Cl_2 与 KOH 和 $Bi(OH)_3$ (白色固体，不溶于水和碱)制备 $KBiO_3$ 的原理如下图所示。



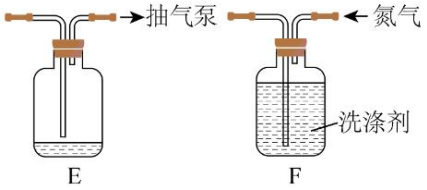
(1)通过仪器 B 向 A 中滴加浓盐酸时，a 的状态是_____(“打开”、“关闭”“打开或关闭都可以”)。

(2)装置 D 中发生反应的化学方程式有_____

(3)装置 D 中铋酸钾的制备结束的标志为_____，此时需要立即关闭 K_1，目的是_____，之后需要打开 K_2，其目的是_____

(4)制备 $KBiO_3$ 的实验结束后，某同学取少量 D 中液体于试管中，加入过量稀硫酸，生成黄绿色的能使湿润的淀粉碘化钾试纸变蓝的气体，该操作能否_____(填“能”或者“不能”)说明氧化性 BiO_3^->Cl_2。

(5)制备 $KBiO_3$ 的实验结束后，将装置 D 置于冰水浴中，析出 $KBiO_3$ 固体，关闭 K_1、K_2、K_4，在 m、n 处连接下图两个装置，对 $KBiO_3$ 进行抽滤洗涤，则 n 接装置_____，F 中的洗涤剂为_____。



热点题空 5　物质检验或鉴别实验方案的设计

【高考必备知识】

一．答题规范

1．离子检验的答题规范

单一离子检验	取试样→加水溶解→加×××试剂 $\xrightarrow{\text{除干扰}}$ $\xrightarrow{\text{分离}}$ 加×××检验试剂→观察现象→得出结论
	以 SO_4^{2-} 的检验为例：取少量溶液于试管中，加入足量稀盐酸，无明显现象，再加入 $BaCl_2$ 溶液，若有白色沉淀产生，则证明有 SO_4^{2-}
多种离子检验	分别取少量溶液于两支试管中，向其中一支试管中滴加×××试剂，现象是×××的是×××离子；再向另一支试管中滴加×××试剂，现象是×××的是×××离子
	检验某溶液中既含有 Fe^{2+} 又含有 Fe^{3+} 的方法：分别取少量溶液于两支试管中，向其中一支试管中滴加几滴 KSCN 溶液，溶液显血红色，则证明溶液中含有 Fe^{3+}，再向另一支试管中滴加几滴铁氰化钾[$K_3Fe(CN)_6$]溶液，有蓝色沉淀生成，则证明溶液中含有 Fe^{2+}

2．固体检验的答题规范

答题模板	①取少许固体样品于两支试管中，加水溶解，分别再加入×××试剂(微热/振荡)，现象是×××的是×××物质 ②取少许固体样品于试管中，加水溶解，把样品分为两等份，向其中一支试管中滴加×××试剂，现象是×××的是×××物质，再向另一支试管中滴加×××试剂，现象是×××的是×××物质
实例	榴石矿石可以看作 CaO、FeO、Fe_2O_3、Al_2O_3、SiO_2 组成。试设计实验证明榴石矿中含有 FeO(试剂任选，说明实验操作与现象)：取矿石少许于试管中，加稀硫酸充分反应后，向其中滴加酸性高锰酸钾溶液，若紫色褪去，则证明矿石中含有 FeO　(不能加盐酸溶解)

3．气体检验的答题规范

单一气体检验	将气体通入(或通过)⟶试剂[×××溶液(或×××固体)]⟶描述现象⟶得出结论
混合气体的检验	检验气体甲⟶除去气体甲⟶确定气体甲已除尽⟶检验气体乙
实例	**以“CO_2 气体检验”为例：**将无色无味的气体通入澄清石灰水中，若溶液变浑浊，则证明该气体是 CO_2
微点拨	①水蒸气最先检验；②有干扰的气体先检验；③关键词：如“少量”“除尽”等

4．物质鉴别的答题规范

固体	①分别取固体分置于两支试管中加热或加入……试剂，现象是……的是……物质 ②分别取固体分置于两支试管中溶于水形成溶液，加……试剂，现象是……的是……物质
溶液	①分别取两溶液分置于两支试管中，分别加入……试剂，现象是……的是……物质 ②分别取两溶液分置于两支试管中，分别加入……试剂，现象是……继续加入……试剂，现象是……的是……物质
气体	取适量……溶液于两支洁净试管中，分别通入两种气体，能使……(试剂)……(现象)的是……气体，不能使……(试剂)……(现象)的是……气体
	鉴别 SO_2 和 CO_2：取适量品红溶液于两洁净的试管中，分别通入两气体，能使品红溶液褪色的是 SO_2 气体，不能使品红溶液褪色的是 CO_2

5．气体的验满和验纯操作

气体	方法
氧气验满	将带火星的木条平放在集气瓶口，若木条复燃，则气体已集满
二氧化碳验满	将燃着的木条平放在集气瓶口，若火焰熄灭，则气体已集满
氨气验满	将湿润的红色石蕊试纸放在集气瓶口，若试纸变蓝，则气体已集满
氯气验满	将湿润的碘化钾-淀粉试纸放在集气瓶口，若试纸变蓝，则气体已集满
可燃性气体(如氢气)的验纯方法	用排水法收集一小试管的气体，用大拇指摁住管口移近火焰，放开手指，若听到尖锐的爆鸣声，则气体不纯；若听到轻微的“噗”的一声，则气体纯净

二．常见离子的检验方法

1．常见阳离子的检验

阳离子	检验依据
Na^+	试剂或方法：Pt(Fe)丝和稀盐酸，**焰色试验** 实验现象(证据)：火焰呈黄色
K^+	试剂或方法：Pt(Fe)丝和稀盐酸，**焰色试验** 实验现象(证据)：火焰呈浅紫色 (K^+要透过蓝色钴玻璃片观察焰色，滤去钠黄色的光)
Fe^{3+}	**①观察法：**溶液呈棕黄色 **②KSCN 溶液：**加入 KSCN 或其它可溶性硫氰化物溶液，溶液呈红色 离子方程式：$Fe^{3+}+3SCN^-===Fe(SCN)_3$ (红色溶液) **③NaOH 溶液：**加入 NaOH 溶液或通入氨气或加入氨水，产生红褐色沉淀 离子方程式：$Fe^{3+}+3OH^-===Fe(OH)_3\downarrow$(红褐色沉淀) **④苯酚溶液：**加入苯酚溶液，溶液呈紫色 离子方程式：$Fe^{3+}+6C_6H_5OH\longrightarrow 6H^++[Fe(C_6H_5O)_6]^{3-}$(紫色溶液)
Fe^{2+}	**①观察法：**溶液呈浅绿色 **②$K_3[Fe(CN)_6]$(铁氰化钾)溶液：**加入铁氰化钾溶液，有蓝色沉淀生成 离子方程式：$3Fe^{2+}+2Fe(CN)_6^{3-}===Fe_3[Fe(CN)_6]_2\downarrow$(蓝色沉淀) **③NaOH 溶液：**加 NaOH 溶液生成白色沉淀，在空气中迅速变为灰绿色，最后变为红褐色 离子方程式：$Fe^{2+}+2OH^-===Fe(OH)_2\downarrow$(白色沉淀) $4Fe(OH)_2+O_2+2H_2O===4Fe(OH)_3$(红褐色沉淀) **④KSCN 溶液、氯水：**加 KSCN 后无颜色变化，再滴加氯水溶液变成血红色 离子方程式：$2Fe^{2+}+Cl_2===2Cl^-+2Fe^{3+}$　　$Fe^{3+}+3SCN^-===Fe(SCN)_3$(红色) **⑤$KMnO_4$法：**分别加入少量酸性 $KMnO_4$ 溶液，能使 $KMnO_4$ 溶液的紫红色变浅 离子方程式：$5Fe^{2+}+MnO_4^-+8H^+===5Fe^{3+}+Mn^{2+}+4H_2O$
NH_4^+	试剂：浓 NaOH 溶液(加热)和湿润的红色石蕊试纸 实验现象(证据)：加入 NaOH 浓溶液并加热，放出能使湿润的红色石蕊试纸变蓝的气体 离子方程式：$NH_4^++OH^-\xlongequal{\triangle}NH_3\uparrow+H_2O$

H^+	紫色石蕊溶液：变红色 甲基橙溶液：变红色 pH 试纸：变红色
Al^{3+}	试剂：NaOH 溶液 实验现象(证据)：生成白色沉淀，NaOH 过量后沉淀逐渐溶解 离子方程式：$Al^{3+}+3OH^-===Al(OH)_3\downarrow$(白色)　　$Al(OH)_3\downarrow+OH^-===AlO_2^-+2H_2O$
Cu^{2+}	**①观察法：**溶液呈蓝色 **②NaOH 溶液：**加 NaOH 溶液，有蓝色沉淀生成，若加热则沉淀变黑 离子方程式：$Cu^{2+}+2OH^-===Cu(OH)_2\downarrow$(蓝色)　　$Cu(OH)_2\xlongequal{\Delta}CuO$(黑色)$+H_2O$ **③H_2S(或 Na_2S 溶液)：**生成黑色沉淀 离子方程式：$Cu^{2+}+H_2S===2H^++CuS\downarrow$(黑色)
Mg^{2+}	试剂：NaOH 溶液 实验现象(证据)：生成白色沉淀，NaOH 过量，沉淀不溶解 离子方程式：$Mg^{2+}+2OH^-===Mg(OH)_2\downarrow$(白色)
Ba^{2+}	试剂：稀硫酸或可溶性硫酸盐溶液 实验现象(证据)：先加稀盐酸，不产生沉淀，然后加稀硫酸或可溶性硫酸盐溶液生成白色沉淀 离子方程式：$Ba^{2+}+SO_4^{2-}===BaSO_4\downarrow$ (白色)
Ag^+	**①盐酸(或氯化物溶液)、稀硝酸：**生成不溶于稀硝酸的白色沉淀 离子方程式：$Ag^++Cl^-===AgCl\downarrow$ (白色) **②氨水：**先生成白色沉淀，若氨水过量，沉淀逐渐溶解 离子方程式：$AgNO_3+NH_3\cdot H_2O===AgOH\downarrow+NH_4NO_3$ $AgOH+2NH_3\cdot H_2O===Ag(NH_3)_2OH+2H_2O$

2.**常见阴离子的检验**

阴离子	**检验依据**
SO_4^{2-}	试剂：稀盐酸和 $BaCl_2$ 溶液　[**必须先用过量稀盐酸酸化**] 实验现象(证据)：加入足量稀盐酸，无明显现象，再加入 $BaCl_2$ 溶液，若有白色沉淀产生
Cl^-	试剂：$AgNO_3$ 溶液、稀硝酸 实验现象(证据)：加入硝酸酸化的硝酸银溶液，有白色沉淀生成 离子方程式：$Ag^++Cl^-===AgCl\downarrow$ (白色)
Br^-	①$AgNO_3$ 溶液、稀硝酸：加入硝酸酸化的硝酸银溶液，有淡黄色沉淀生成 离子方程式：$Ag^++Br^-===AgBr\downarrow$ (淡黄色) ②氯水、CCl_4(或苯)：加入新制的饱和氯水，再加入 CCl_4(或苯)，溶液分层，下层(或上层)呈橙红色离子方程式：$Cl_2+2Br^-===Cl^-+Br_2$
I^-	①$AgNO_3$ 溶液、稀硝酸：加入硝酸酸化的硝酸银溶液，有黄色沉淀生成 离子方程式：$Ag^++I^-===AgI\downarrow$ (黄色)

	②氯水、CCl_4(或苯)：加入新制的饱和氯水，再加入 CCl_4(或苯)，溶液分层，下层(或上层)呈紫红色离子方程式：$Cl_2+2I^-===Cl^-+I_2$ ③氯水、淀粉溶液：加入新制的饱和氯水(或双氧水)，再加入淀粉溶液，溶液变蓝 离子方程式：$Cl_2+2I^-===Cl^-+I_2$　$H_2O_2+2I^-+2H^+===I_2+2H_2O$
CO_3^{2-}	试剂：$BaCl_2$(或 $CaCl_2$)溶液和硝酸(或盐酸) 实验现象(证据)：加入 $BaCl_2$(或 $CaCl_2$)溶液反应，生成白色沉淀，再加稀硝酸(或盐酸)后白色沉淀溶解，产生无色无味气体 离子方程式：$Ba^{2+}+CO_3^{2-}===BaCO_3\downarrow$　$BaCO_3+2H^+===Ba^{2+}+CO_2\uparrow+H_2O$
SO_3^{2-}	试剂：氯化钡溶液、盐酸、品红溶液 实验现象(证据)：加入 $BaCl_2$ 溶液反应，生成白色沉淀，加盐酸后白色沉淀溶解，产生无色、具有刺激性气味的气体，将生成的气体通入品红溶液中，溶液褪色 离子方程式：$Ba^{2+}+SO_3^{2-}===BaSO_3\downarrow$　$BaSO_3+2H^+===Ba^{2+}+SO_2\uparrow+H_2O$
HCO_3^-	试剂：$BaCl_2$(或 $CaCl_2$)溶液和硝酸(或盐酸) 实验现象(证据)：加入 $BaCl_2$(或 $CaCl_2$)溶液反应，无白色沉淀产生，再加稀硝酸(或盐酸)后，产生无色无味气体 离子方程式：$HCO_3^-+H^+===CO_2\uparrow+H_2O$
HSO_3^-	试剂：氯化钡溶液、盐酸、品红溶液 实验现象(证据)：加入 $BaCl_2$ 溶液反应，无白色沉淀产生，加盐酸后，产生无色、具有刺激性气味的气体，将生成的气体通入品红溶液中，溶液褪色 离子方程式：$Ba^{2+}+SO_3^{2-}===BaSO_3\downarrow$　$BaSO_3+2H^+===Ba^{2+}+SO_2\uparrow+H_2O$
OH^-	①无色酚酞溶液：变为红色 ②紫色石蕊溶液：变为蓝色
S^{2-}	试剂：$Pb(NO_3)_2$ 溶液($CuSO_4$ 或 $CuCl_2$ 溶液)、稀硝酸 实验现象(证据)：加入 $Pb(NO_3)_2$ 溶液生成黑色沉淀，且不溶于稀硝酸 离子方程式：$S^{2-}+Pb^{2+}===PbS\downarrow$(黑色)　$S^{2-}+Cu^{2+}===CuS\downarrow$(黑色)
SiO_3^{2-}	试剂：稀硝酸 实验现象(证据)：稀硝酸，产生白色絮状沉淀 离子方程式：$2H^++SiO_3^{2-}===H_2SiO_3\downarrow$
NO_3^-	试剂：稀硫酸、金属铜 实验现象(证据)：加入铜片、稀硫酸加热，溶液变蓝色，有无色、具有刺激性气味的气体产生，遇空气后气体变红棕色 离子方程式：$3Cu+8H^++2NO_3^-===3Cu^{2+}+2NO\uparrow+4H_2O$　$2NO+O_2===2NO_2$
PO_4^{3-}	试剂：$AgNO_3$ 溶液、稀硝酸 实验现象(证据)：加入 $AgNO_3$ 溶液生成黄色沉淀，沉淀可溶于稀硝酸 离子方程式：$3Ag^++PO_4^{3-}===Ag_3PO_4\downarrow$(黄色)

3.常见气体的检验

气体	化学检验方法或思路
O_2	使带火星的木条复燃
NO	在空气中立即变成红棕色
CO	点燃时火焰呈淡蓝色，燃烧产物可使澄清石灰水变浑浊； 或将气体通过灼热的 CuO，CuO 由黑色变成红色，且气体产物可使澄清石灰水变浑浊
CO_2	使澄清石灰水变浑浊，继续通入又可变澄清；使燃着的木条熄灭
H_2S	通入 $CuSO_4$ 溶液中产生黑色沉淀
SO_2	使品红溶液褪色，加热后又恢复红色；使澄清石灰水变浑浊；使酸性高锰酸钾溶液褪色
NO_2	通入水中得到无色溶液并产生气泡，液面上方有红棕色气体产生，水溶液显酸性；使湿润的淀粉－KI 试纸变蓝
Cl_2	使湿润的淀粉－KI 试纸变蓝
HCl	使湿润的蓝色石蕊试纸变红；靠近浓氨水时产生白烟；通入 $AgNO_3$ 溶液中有白色沉淀生成
NH_3	使湿润的红色石蕊试纸变蓝；使酚酞溶液变红；靠近浓盐酸时产生白烟
$CH_2{=}{=}CH_2$	能使酸性高锰酸钾溶液、溴水、溴的四氯化碳溶液褪色，点燃时有明亮的火焰，并产生黑烟，燃烧产物能使澄清石灰水变浑浊

4.常见有机物的检验

有机物	检验方法或思路
卤代烃	首先加 NaOH 溶液并加热，再加稀硝酸中和碱液，最后滴加 $AgNO_3$ 溶液
乙醇	可使有黑色氧化膜的灼热铜丝变得光亮(生成铜)，并产生有刺激性气味的气体(乙醛)；与金属钠能够平缓地反应，产生氢气
醛、葡萄糖	与银氨溶液(水浴加热)反应形成银镜；与新制 $Cu(OH)_2$ 悬浊液(加热)反应生成砖红色沉淀(Cu_2O)
羧酸	使紫色石蕊溶液变红；使蓝色石蕊试纸变红
酯	与滴有酚酞的稀 NaOH 溶液共热，红色逐渐消失（有机层消失）
淀粉	溶液遇碘变为蓝色
蛋白质	灼烧，有烧焦羽毛的气味；加浓硝酸并微热，颜色变黄(含苯环结构的蛋白质用此法)

【题组训练】

1. 完成以下实验方案的设计

(1)证明 CO_2 中含有 CO：_____

(2)证明 SO_2 中含有 CO_2：_____

(3)证明 Na_2SO_3 已经被氧化：_____

(4)证明 $H_2C_2O_4$ 是二元弱酸：_____

(5)检验含有 Fe^{3+}的溶液中含有 Fe^{2+}：_____

(6)硫代硫酸钠晶体($Na_2S_2O_3\cdot5H_2O$，M＝248 $g\cdot mol^{-1}$)可用作定影剂、还原剂。市售硫代硫酸钠中常含有硫

酸根杂质，选用下列试剂设计实验方案进行检验：试剂：稀盐酸、稀 H_2SO_4、$BaCl_2$ 溶液、Na_2CO_3 溶液、H_2O_2 溶液

实验步骤	现象
取少量样品，加入除氧蒸馏水	完全溶解得无色澄清溶液
①_____	②_____，有刺激性气味的气体产生
③静置，_____	④_____

2. 铁、铜等金属及其化合物在日常生活中用途非常广泛。某化学实验小组通过实验来探究一包黑色粉末是否由 Fe_3O_4、CuO 组成，探究过程如下：

(1)提出假设(将假设 2 补充完整)　　假设 1：黑色粉末是 CuO

假设 2：_____　　假设 3：黑色粉末是 CuO 和 Fe_3O_4 的混合物

(2)设计实验

取少量粉末放入足量稀硫酸中，在所得溶液中滴加 KSCN 试剂

①若假设 1 成立，则实验现象是溶液显蓝色

②若假设 2 或 3 成立，则实验现象是_____。

为进一步探究，继续向所得溶液中加入足量铁粉，若产生_____的现象，则假设 3 成立

有另一小组同学提出，若混合物中 CuO 含量较少，可能加入铁粉后实验现象不明显。

查阅资料：Cu^{2+}与足量氨水反应生成深蓝色溶液，$Cu^{2+}+4NH_3\cdot H_2O===[Cu(NH_3)_4]^{2+}+4H_2O$

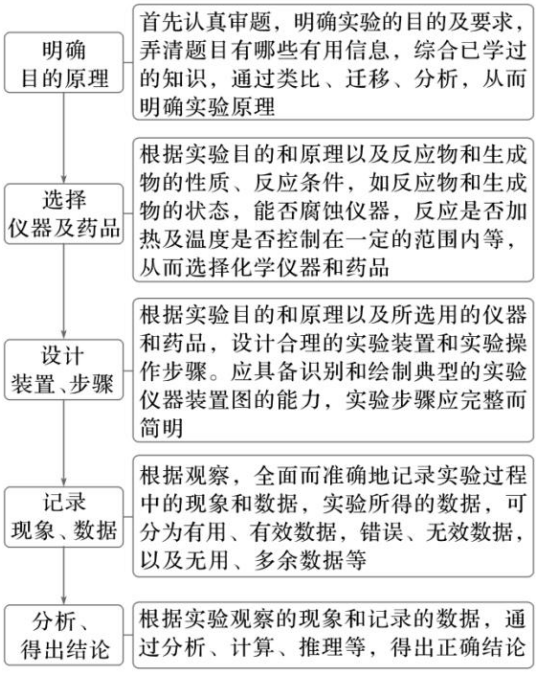
为探究是假设 2 还是假设 3 成立，另取少量粉末加稀硫酸充分溶解后，再加入足量氨水，若假设 2 成立，则产生的现象是_____；若假设 3 成立，则产生的现象是_____。

热点题空 6　化学综合实验

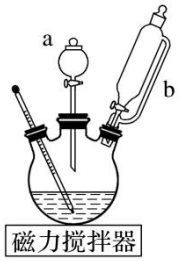
【高考必备知识】

1. 以无机物制备为主线的综合实验

物质制备型实验题的思维方法



1.(2023·河北)配合物 $Na_3[Co(NO_2)_6]$(M=404 g·mol^{-1})在分析化学中用于 K^+的鉴定，其制备装置示意图(夹持装置等略)如图，步骤如下：



①向三颈烧瓶中加入 15.0 g $NaNO_2$ 和 15.0 mL 热蒸馏水，搅拌溶解。

②磁力搅拌下加入 5.0 g $Co(NO_3)_2·6H_2O$，从仪器 a 加入 50%醋酸 7.0 mL。冷却至室温后，再从仪器 b 缓慢滴入 30%双氧水 8.0 mL。待反应结束，滤去固体。

③在滤液中加入 95%乙醇，静置 40 分钟。固液分离后，依次用乙醇、乙醚洗涤固体产品，称重。

已知：i.乙醇、乙醚的沸点分别是 78.5 ℃、34.5 ℃；

ii.$NaNO_2$ 的溶解度数据如下表。

温度/℃	20	30	40	50
溶解度/(g/100 g H_2O)	84.5	91.6	98.4	104.1

回答下列问题：

(1)仪器 a 的名称是_____，使用前应_____。

(2)$Na_3[Co(NO_2)_6]$中钴的化合价是_____，制备该配合物的化学方程式为_____。

(3)步骤①中，用热蒸馏水的目的是_____。

(4)步骤③中，用乙醚洗涤固体产品的作用是_____。

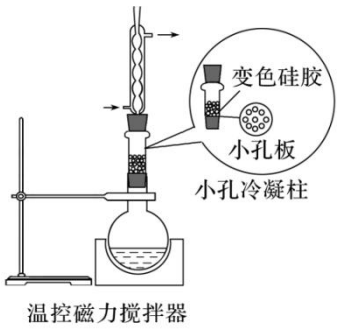
(5)已知：$2K^+ + Na^+ + [Co(NO_2)_6]^{3-} \xlongequal{\text{中性或弱酸性}} K_2Na[Co(NO_2)_6]\downarrow$(亮黄色)，足量 KCl 与 1.010 g 产品反应生成 0.872 g 亮黄色沉淀，产品纯度为_____%。

2. 以有机物制备、提取、纯化为主线的综合实验

解有机物制备类实验题的思维模型

分析制备流程	原料和目标产品 ⇨ 确定制备原理 ⇨ 选择合理的仪器和装置 ⇨ 分离提纯 ⇨ 产率计算 ⇩ ⇩ ⇩ ⇩ 原子利用率高、污染小 / 操作简单 / 反应条件控制方便 / 依据产品和杂质的性质差异选择合适方法
依据有机反应特点作答	(1)有机化合物易挥发，反应中通常采用冷凝回流装置，以减少有机物的挥发，提高原料的利用率和产物的产率； (2)有机反应通常都是可逆反应，且易发生副反应，因此常使价格较低的反应物过量，以提高另一反应物的转化率和产物的产率，同时在实验中需要控制反应条件，以减少副反应的发生； (3)根据产品与杂质的性质差异，选择合适的分离、提纯方法

2.(2024·黑吉辽)某实验小组为实现乙酸乙酯的绿色制备及反应过程可视化，设计实验方案如下：



I.向 50 mL 烧瓶中分别加入 5.7 mL 乙酸(100 mmol)、8.8 mL 乙醇(150 mmol)、1.4 g $NaHSO_4$ 固体及 4~6 滴 1‰甲基紫的乙醇溶液。向小孔冷凝柱中装入变色硅胶。

II.加热回流 50 min 后，反应液由蓝色变为紫色，变色硅胶由蓝色变为粉红色，停止加热。

III.冷却后，向烧瓶中缓慢加入饱和 Na_2CO_3 溶液至无 CO_2 逸出，分离出有机相。

IV.洗涤有机相后，加入无水 $MgSO_4$，过滤。

V.蒸馏滤液，收集 73~78 ℃馏分，得无色液体 6.60 g，色谱检测纯度为 98.0%。

回答下列问题：

(1)$NaHSO_4$ 在反应中起_____作用，用其代替浓 H_2SO_4 的优点是_____(答出一条即可)。

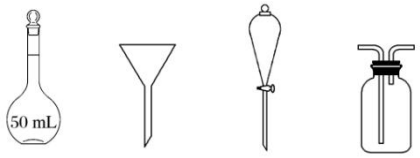
(2)甲基紫和变色硅胶的颜色变化均可指示反应进程。变色硅胶吸水，除指示反应进程外，还可_____。

(3)使用小孔冷凝柱承载，而不向反应液中直接加入变色硅胶的优点是_____(填标号)。

A.无需分离　　B.增大该反应平衡常数

C.起到沸石作用，防止暴沸　　D.不影响甲基紫指示反应进程

(4)下列仪器中，分离有机相和洗涤有机相时均需使用的是_____(填名称)。

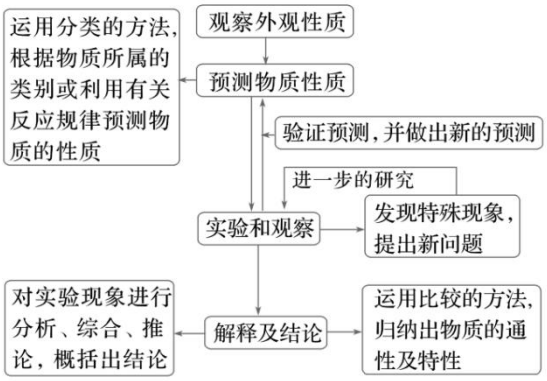


(5)该实验乙酸乙酯的产率为_____(精确至 0.1%)。

(6)若改用 $C_2H_5{}^{18}OH$ 作为反应物进行反应，质谱检测目标产物分子离子峰的质荷比数值应为_____(精确至 1)。

3.以物质性质探究为主的综合实验

(1)研究物质性质的基本方法和程序



注意事项：

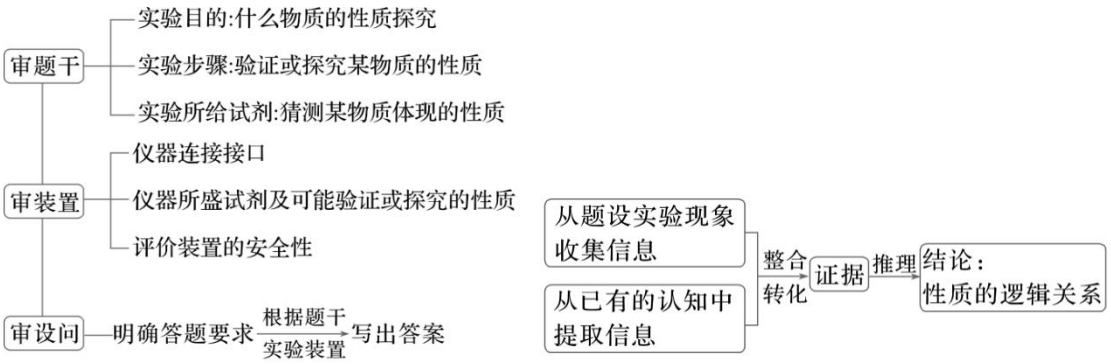
(i)若探究影响物质性质的因素，首先应确定变量，其次是“定多变一”，即其他因素不变，只改变一种因素，看这种因素与探究的问题存在怎样的关系。

(ii)多角度辩证地看问题

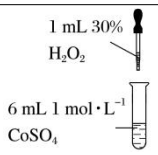
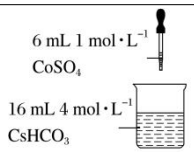
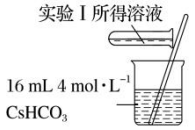
①研究反应物中各微粒的性质(即内因)。

②研究反应条件的影响(如温度、浓度、环境中的其他物质)。

(2)物质性质综合实验探究题的审题思路

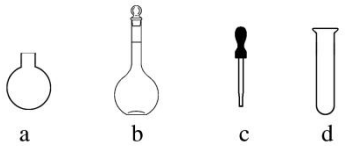


3.(2024·湖北)学习小组为探究 Co^{2+}、Co^{3+}能否催化 H_2O_2 的分解及相关性质，室温下进行了实验I~IV。

实验I	实验II	实验III
		
无明显变化	溶液变为红色，伴有气泡产生	溶液变为墨绿色，并持续产生能使带火星木条复燃的气体

已知：$[Co(H_2O)_6]^{2+}$为粉红色、$[Co(H_2O)_6]^{3+}$为蓝色、$[Co(CO_3)_2]^{2-}$为红色、$[Co(CO_3)_3]^{3-}$为墨绿色。回答下列问题：

(1)配制 1.00 mol·L^{-1} 的 $CoSO_4$ 溶液，需要用到下列仪器中的_____(填标号)。

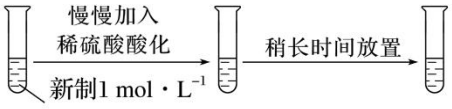


(2)实验I表明$[Co(H_2O)_6]^{2+}$_____(填“能”或“不能”)催化 H_2O_2 的分解。实验II中 HCO_3^-大大过量的原因是_____。

实验III初步表明$[Co(CO_3)_3]^{3-}$能催化 H_2O_2 的分解，写出 H_2O_2 在实验III中所发生反应的离子方程式_____、_____。

(3)实验I表明，反应 $2[Co(H_2O)_6]^{2+}+H_2O_2+2H^+ \rightleftharpoons 2[Co(H_2O)_6]^{3+}+2H_2O$ 难以正向进行，利用化学平衡移动原理，分析 Co^{3+}、Co^{2+}分别与 CO_3^{2-}配位后，正向反应能够进行的原因_____

_____。



实验IV：

(4)实验IV中，A 到 B 溶液变为蓝色，并产生气体；B 到 C 溶液变为粉红色，并产生气体。从 A 到 C 所产生的气体的分子式分别为_____、_____。

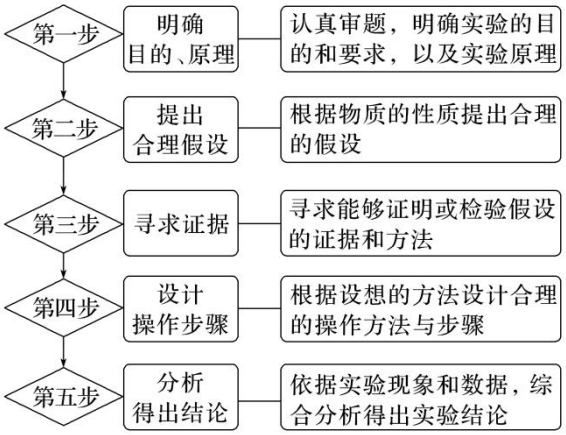
4．反应产物、反应机理的探究

1．解答产物确定题的思路分析

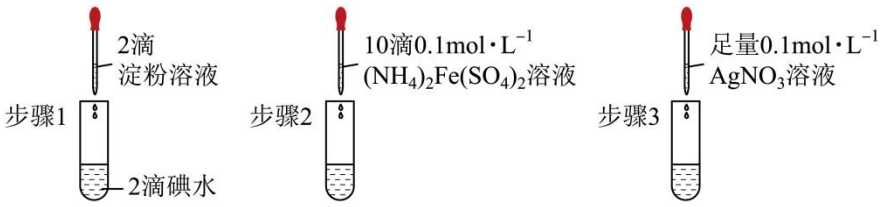
由性质确定反应产物是解此类题目的根本思路，而题目中所涉及的物质，一般分为两类。

第一类	常见的熟悉物质	要注意物质的特殊性质，比如颜色、状态、气味、溶解性等物理性质，或能与哪些物质反应生成特殊的沉淀、气体等化学性质
第二类	能类比迁移的陌生物质	虽然平时接触不多，但其某种组成成分、结构成分(如离子、原子团、官能团等)必然学过，则可以考虑与其结构相似的物质的性质，进而推断其具体组成

2.寻求反应机理类探究性实验解题流程

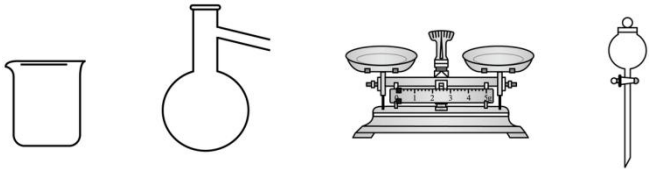


4. 某研究性学习小组通过下列实验验证 AgI 沉淀的生成会使 I_2 的氧化能力增强，可将 Fe^{2+} 氧化。



回答下列问题：

(1)由 $AgNO_3$ 固体配制 0.1mol·L^{-1} 的 $AgNO_3$ 溶液 50mL，下列仪器中不需要使用的有_____(填名称)，配制好的溶液应转移到_____(填试剂瓶的名称)中保存。



(2)步骤 1 的实验现象是_____；步骤 2 无明显现象；步骤 3 最终的实验现象是溶液中生成黄色沉淀，_____。由此可知，步骤 3 反应的离子方程式为_____

_____。

(3)为了确证 AgI 的生成使 I_2 的氧化能力增强而将 Fe^{2+} 氧化，学习小组在上述实验基础上进行补充实验：分别取少量的_____和步骤 3 试管中的上层清液于试管 a 和试管 b 中，向两支试管中加入过量的_____，观察到的现象为_____。

5. 某小组为探究 Mg 与 NH_4Cl 溶液反应机理，常温下进行以下实验。实验中所取镁粉质量均为 0.5g，分别加入到选取的实验试剂中。

资料：①CH_3COONH_4 溶液呈中性。

②Cl^- 对该反应几乎无影响。

实验	实验试剂	实验现象
1	5mL 蒸馏水	反应缓慢，有少量气泡产生(经检验为 H_2)
2	5mL 1.0 mol/L NH_4Cl 溶液 (pH=4.6)	剧烈反应，产生刺激性气味气体和灰白色难溶固体

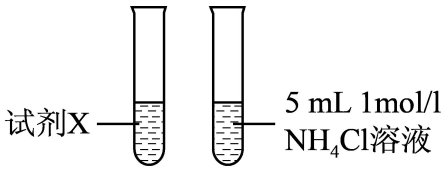
(1)经检验实验 2 中刺激性气味气体为 NH_3，检验方法是_____。

用排水法收集一小试管产生的气体，经检验小试管中气体为 H_2。

(2)已知灰白色沉淀中含有 Mg^{2+}、OH^-。为研究固体成分，进行实验：将生成的灰白色固体洗涤数次，至洗涤液中滴加 $AgNO_3$ 溶液后无明显浑浊。将洗涤后固体溶于稀 HNO_3，再滴加 $AgNO_3$ 溶液，出现白色沉淀。推测沉淀中含有_____，灰白色固体可能是_____(填化学式)。

(3)甲同学认为实验 2 比实验 1 反应剧烈的原因是 NH_4Cl 溶液中 $c(H^+)$大，与 Mg 反应快。用化学用语解释 NH_4Cl 溶液显酸性的原因是_____。

(4)乙同学通过实验 3 证明甲同学的说法不合理。

实验	实验装置
3	

①试剂 X 是_____。

②由实验 3 获取的证据为_____。

(5)为进一步探究实验 2 反应剧烈的原因，进行实验 4。

实验	实验试剂	实验现象
4	5 mL NH_4Cl 乙醇溶液	有无色无味气体产生(经检验为 H_2)

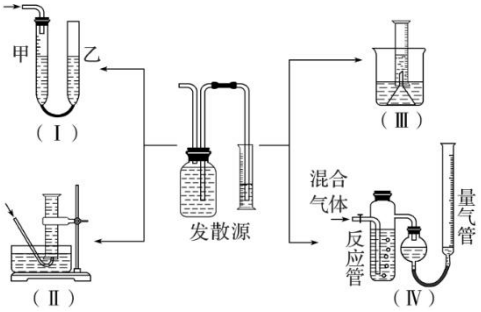
依据上述实验，可以得出 Mg 能与 NH_4^+ 反应生成 H_2。乙同学认为该方案不严谨，需要补充的实验方案是_____。

(6)由以上实验可以得出的结论是_____。

热点题空 7　定量测定物质的含量

【高考必备知识】

考点一　综合大题中气体体积、固体质量的测定



1.气体体积的测量

(1)量气装置的改进

(2)量气时应注意的问题

①量气时应保持装置处于室温状态。

②读数时要特别注意消除“压强差”，保持液面相平，同时要注意视线与液面最低处相平。如图(I)、(IV)应使左侧和右侧的液面高度保持相平。

2.测定实验中要有被测量气体全部被测量的意识

如采取反应结束后继续向装置中通入“惰性”气体以使被测量气体全部被吸收剂吸收的方法。

3.测定实验中要有“数据”的采集处理意识

实验数据的采集是化学计算的基础，一般来讲，固体试剂称质量，而液体试剂和气体试剂则测量体积。

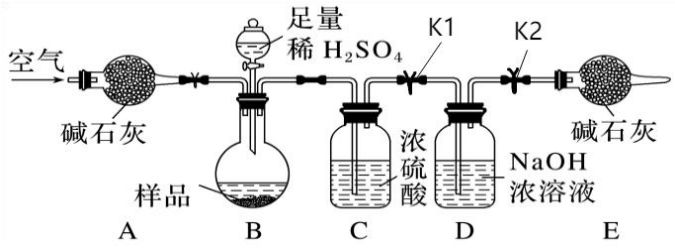
(1)称量固体质量时，中学一般用托盘天平，可估读到 0.1 g，精确度要求高的实验中可以用分析天平或电子天平，可精确到 0.000 1 g。

(2)测量液体体积时，一般实验中选用适当规格的量筒，可估读到 0.1 mL，准确度要求高的定量实验如中和滴定中选用(酸式或碱式)滴定管或移液管，可估读到 0.01 mL。容量瓶作为精密的定容仪器，用于配制一定物质的量浓度的溶液，一般不用于量取液体的体积。

(3)气体除了量取外，还可以称量。称量气体的质量时一般有两种方法：一种方法是称量反应装置在放出气体前后的质量减小值；另一种方法是称量吸收装置吸收气体前后的质量增大值。

【题组训练】

1.NaCl 中含有少量 Na_2CO_3 杂质，某兴趣小组设计了如图实验装置(部分夹持装置省略)，测定产品 NaCl 中 Na_2CO_3 的含量。



测定过程中可能涉及到的实验操作步骤有：

A.关闭 K_1,K_2，取下装置 D，称量。

b.称量样品质量 m_1，检查装置气密性。

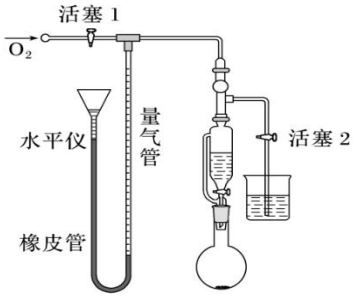
c.打开弹簧夹，鼓入空气，一段时间后关闭。

d.打开分液漏斗的活塞和玻璃塞，注入足量稀硫酸充分反应，关闭活塞和玻璃塞。

(1)请写出正确的操作顺序：b→_____→a(用步骤序号回答，可重复)。

(2)仪器 E 的名称为_____。该装置中的碱石灰的作用是_____。

2.醋酸钴与双水杨醛缩乙二胺形成的配合物[Co(Ⅱ)Salen]在特殊条件下可吸氧，并向指定方向运输。某实验小组测定[Co(Ⅱ)Salen]的载氧能力。将 m g 的[Co(Ⅱ)Salen](相对分子质量为 M)加入圆底烧瓶中，在恒压漏斗中加入 DMF(配合物在 DMF 中可吸氧)，如图搭建装置。



检查仪器气密性的操作：先关闭_____，然后调节水平仪的水位至与量气管水位产生一定液面差。装置不漏气的现象是_____。调整水平仪高度，待(填现象)时，记录量气管水位的体积刻度为 V_1。将 DMF 加入圆底烧瓶，待吸氧反应结束并规范操作后，记录量气管水位的体积刻度为 V_2。已知氧气的压强为 $p(O_2)$，温度为 t ℃。配合物载氧量的{n(吸收的 O_2)∶n([Co(Ⅱ)Salen])}计算式为_____(结合 $pV=nRT$ 进行解答，已知 0 ℃=273 K)。

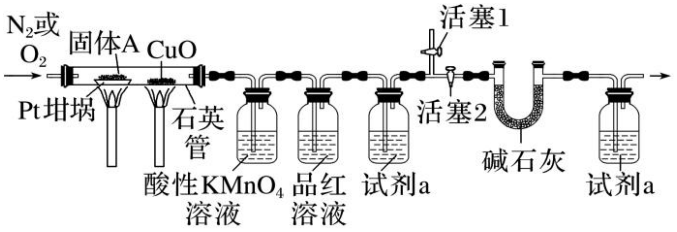
3.某实验小组对一种染料废水进行处理，获得 Na_2SO_4 并测定废水的总有机碳(总有机碳是指单位体积水样中溶解或悬浮的有机物碳元素质量总和，是水体评价的综合指标之一)。

实验步骤为：①取 100 mL 废水(假定有机成分只有萘磺酸钠)，在 35 ℃下加入等体积甲醇，充分混合后，冷却、过滤，得到固体 A 和滤液 B。

②经检测，固体 A 主要成分为 Na_2SO_4，并含有少量 Na_2SO_3 和萘磺酸钠；滤液 B 含 2.3 g 萘磺酸钠($C_{10}H_7SO_3Na$，M=230 g·mol^{-1})。

③一定温度下，从滤液 B 中回收甲醇；再蒸发浓缩析出萘磺酸钠，过滤，得滤液 C，向滤液 C 中加入适量的 NaClO 溶液去除少量的 NH_4^+ 和 NH_3。

④按下图实验装置(部分装置略)对固体 A 进行处理，完全反应后 Pt 坩埚中固体为 Na_2SO_4。



简化的操作过程：先检查装置气密性，再打开或关闭活塞 1 和活塞 2，通入 N_2 一段时间。再次打开或关闭活塞 1 和活塞 2，改为通入 O_2，点燃煤气灯，一定时间后，停止加热，继续通 O_2 一段时间。

(1)实验步骤①中加入甲醇的目的为_____。

(2)实验步骤③中回收甲醇的操作名称是_____，去除 NH_3 生成 N_2 反应的离子方程式为_____。

(3)通入 N_2 的目的是_____。

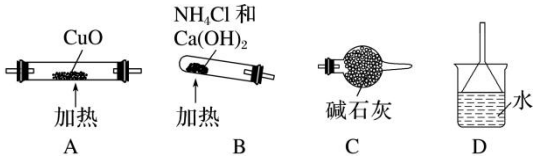
(4)酸性 $KMnO_4$ 溶液的作用是_____，试剂 a 是_____。

(5)改为通入 O_2 前，需_____(填标号)。

A.打开活塞 1　　B.打开活塞 2　　C.关闭活塞 1　　D.关闭活塞 2

(6)反应后 U 形管(含试剂)增重 0.44 g，该废水总有机碳=_____ mg·L^{-1}(用科学计数法表示)。

4.某小组成员用氨气还原氧化铜的方法测定铜的近似相对原子质量，其反应的化学方程式为$3CuO+2NH_3\overset{\triangle}{=\!=\!=}3Cu+N_2+3H_2O$，反应前称取 CuO *a* g，待 CuO 充分反应后，他们测得生成 H_2O 的质量为 *b* g，利用如图所示的仪器完成该实验。



①仪器连接的顺序是_____(填字母，仪器可重复使用)。

②列出计算铜的近似相对原子质量的表达式：_____。

③下列情况将使测定结果偏小的是_____(填字母)。

A.CuO 未全部还原为 Cu　　B.CuO 受潮　　C.CuO 中混有 Cu

5.胆矾($CuSO_4\cdot5H_2O$)易溶于水，难溶于乙醇。某小组用工业废铜焙烧得到的 CuO(杂质为氧化铁及泥沙)为原料与稀硫酸反应制备胆矾，并测定其结晶水的含量。回答下列问题：

(1)制备胆矾时，用到的实验仪器除量筒、酒精灯、玻璃棒、漏斗外，还必须使用的仪器有____(填字母)。

A.烧杯　　B.容量瓶　　C.蒸发皿　　D.移液管

(2)将 CuO 加入到适量的稀硫酸中，加热，其主要反应的化学方程式为_____，与直接用废铜和浓硫酸反应相比，该方法的优点是_____。

(3)待 CuO 完全反应后停止加热，边搅拌边加入适量 H_2O_2，冷却后用 $NH_3\cdot H_2O$ 调 pH 为 3.5~4，再煮沸 10 min，冷却后过滤。滤液经如下实验操作：加热蒸发、冷却结晶、_____、乙醇洗涤、_____，得到胆矾。其中，控制溶液 pH 为 3.5~4 的目的是_____，煮沸 10 min 的作用是_____。

(4)结晶水测定：称量干燥坩埚的质量为 m_1，加入胆矾后总质量为 m_2，将坩埚加热至胆矾全部变为白色，置于干燥器中冷至室温后称量，重复上述操作，最终总质量恒定为 m_3。根据实验数据，胆矾分子中结晶水的个数为_____(写表达式)。

(5)下列操作中，会导致结晶水数目测定值偏高的是_____(填标号)。

①胆矾未充分干燥　　②坩埚未置于干燥器中冷却　　③加热时有少量胆矾迸溅出来

考点二 综合大题中滴定法测定

1、常用的四种滴定法

(1)酸碱中和滴定法

(2)氧化还原滴定法

①原理：以氧化剂或还原剂为滴定剂，直接滴定一些具有还原性或氧化性的物质，或者间接滴定一些本身并没有还原性或氧化性，但能与某些还原剂或氧化剂反应的物质

②试剂：常见用于滴定的氧化剂有 $KMnO_4$、$K_2Cr_2O_7$、I_2 等；常见用于滴定的还原剂有亚铁盐、草酸、维生素 C、$Na_2S_2O_3$ 等

③指示剂：氧化还原滴定的指示剂有三类

a．氧化还原指示剂

b．专用指示剂，如：在碘量法滴定中，可溶性淀粉溶液遇碘标准溶液变蓝

c．自身指示剂，如：高锰酸钾标准溶液滴定草酸时，滴定终点为溶液由无色变为浅红色

④实例

a．酸性 $KMnO_4$ 溶液滴定 $H_2C_2O_4$ 溶液

原理	$2MnO_4^-+6H^++5H_2C_2O_4=\!=\!=10CO_2\uparrow+2Mn^{2+}+8H_2O$
指示剂	酸性 $KMnO_4$ 溶液本身呈紫色，不用另外选择指示剂
终点判断	当滴入最后半滴酸性 $KMnO_4$ 溶液后，溶液由无色变浅红色，且半分钟内不恢复原色，说明到达滴定终点

b．$Na_2S_2O_3$ 溶液滴定碘液

原理	$2Na_2S_2O_3+I_2=\!=\!=Na_2S_4O_6+2NaI$
指示剂	用淀粉溶液作指示剂
终点判断	当滴入最后半滴 $Na_2S_2O_3$ 溶液后，溶液的蓝色褪去，且半分钟内不恢复原来的颜色，说明到达滴定终点

(2)沉淀滴定法

①概念：沉淀滴定是利用沉淀反应进行滴定、测量分析的方法，生成沉淀的反应很多，但符合条件的却很少，实际上应用最多的是银量法，即利用 Ag^+ 与卤素离子的反应来测定 Cl^-、Br^-、I^- 的浓度

②原理：淀滴定所用的指示剂本身就是一种沉淀剂，滴定剂与被滴定物反应的生成物的溶解度要比滴定剂与指示剂反应的生成物的溶解度小，否则不能用这种指示剂

③实例：用 $AgNO_3$ 溶液测定某溶液中 Cl^- 的含量

原理	$Ag^++Cl^-=\!=\!=AgCl\downarrow$　　$2Ag^++CrO_4^{2-}=\!=\!=Ag_2CrO_4\downarrow$
指示剂	以 CrO_4^{2-} 为指示剂，这是因为 AgCl 比 Ag_2CrO_4 更难溶的缘故，首先生成 AgCl 白色沉淀，当 Cl^- 基本沉淀完全[$c(Cl^-)\leq1.0\times10^{-5}\ mol\cdot L^{-1}$]，生成砖红色的沉淀 Ag_2CrO_4，此时标志到达滴定终点[$K_{sp}(AgCl)=1.8\times10^{-10}$，$K_{sp}(Ag_2CrO_4)=1.1\times10^{-12}$]
终点判断	当滴入最后半滴 $AgNO_3$ 溶液后，出现砖红色沉淀(Ag_2CrO_4 为砖红色沉淀)，且半分钟内沉淀不变色，说明到达滴定终点

(3)配位滴定法

①原理：以配位反应(形成配合物)为反应原理的滴定分析方法，主要用于金属离子含量的测定

②配位剂：应用最广泛的是乙二胺四乙酸(简称 EDTA)，一般情况下 EDTA 与金属离子都能以 1∶1 形成配合物

③指示剂：配位滴定有专用的配位滴定指示剂，其原理为该指示剂可与金属离子形成配合物而具有一定的颜色，滴定时，金属离子与滴定剂配位而置换出指示剂，发生特定的颜色变化来标志滴定终点

3．滴定实验中的几个关键点

(1)指示剂的选择

选择依据	指示剂的类型	应用举例
反应后溶液的酸碱性	通常用甲基橙或酚酞	(1)NaOH 滴定 CH_3COOH，反应生成的 CH_3COONa 显碱性，故选酚酞作指示剂，终点颜色由无色变浅红色。 (2)盐酸滴定氨水，反应生成的 NH_4Cl 显酸性，故选甲基橙作指示剂，终点颜色由黄色变橙色。 (3)NaOH 滴定盐酸，反应生成的 NaCl 显中性，故选甲基橙或酚酞作指示剂均可（终点颜色由无色变浅红色）
反应物自身颜色变化	$KMnO_4$ 溶液	用 $KMnO_4$ 滴定 Fe^{2+}或 $H_2C_2O_4$ 溶液，$KMnO_4$ 自身颜色的变化可作滴定终点的判断，终点颜色（由无色）变浅红色
借助显色试剂	淀粉溶液	用 $Na_2S_2O_3$ 滴定 I_2，选淀粉溶液作指示剂，终点颜色由蓝色变无色
借助显色沉淀	K_2CrO_4 溶液	用 $AgNO_3$ 溶液滴定含 Cl^-的溶液，选 K_2CrO_4 溶液作指示剂，终点出现淡红色沉淀(Ag_2CrO_4 为砖红色沉淀)

(2)误差分析

①没有用标准溶液润洗滴定管，导致待测物浓度偏大

②滴定到终点时，俯视读数，导致待测物浓度偏小

③滴定前没有赶气泡，导致待测物浓度偏大

4．解答滴定问题的思维流程

(1)第一步：理清滴定类型，快速浏览滴定过量，滴定待测物和滴定试剂之间是直接滴定型还是间接滴定型

滴定方法		滴定模型
直接滴定		待测物 A 和滴定剂 B 通过得失电子守恒或原子守恒直接建立起关系，即滴定过程涉及的反应只有一个，即 aA～bB 关系
间接滴定	连续滴定	待测物 A 与试剂 B 发生反应生成中间产物 C，中间产物 C 又与滴定试剂 D 发生反应，待测物 A 与滴定试剂 D 之间的定量关系需要借助中间产物 C 建立，该过程涉及的反应至少有两个
	返滴定	待测物 A 与过量的试剂 B 发生反应，再用试剂 C 滴定过量的试剂 B，由消耗的试剂 C 求解与待测物 A 反应的过量的试剂 B，再由试剂 B 的总量减去过量的试剂 B 而求得与待测物 A 反应的试剂 B，进而求得待测物 A

(2)第二步：建立守恒关系，在理清滴定类型的基础上，通过原子守恒或得失电子守恒快速建立待测物和滴定试剂之间的定量关系。根据滴定类型建立待测物和滴定试剂之间的关系是后续顺利解答试题的核心依据

(3)第三步：留意单位换算，在代入数据计算时要留意所取待测物和滴定试剂物理量的不同，不同物理量之间的计算要留意单位之间的换算，如 mL 与 L，g、kg 与 mg 等

(4)第四步：关注结果表达，待测物含量表达是最后一步，常见的表达方式有质量分数(%)、质量体积浓度(mg/L)等。结果表达要关注待测物给定的量与滴定时实际取用的量是否一致，如给定待测物量是 1 L 或 500 mL，滴定时取用了其中的 100 mL 或 25 mL，后续数据的处理和最终结果的表达要与量保持一致

5．滴定法测定物质的含量计算公式

(1)$n=\frac{m}{M}$，$n=\frac{V}{V_m}$，$n=cV(aq)$　　(2)物质的质量分数(或纯度)$=\frac{\text{该物质的质量}}{\text{混合物的总质量}}\times100\%$

(3)产品产率$=\frac{\text{产品的实际产量}}{\text{产品的理论产量}}\times100\%$　　(4)物质转化率$=\frac{\text{参加反应的原料量}}{\text{加入原料的总量}}\times100\%$

【题组训练】

1.烟道气中 NO_x 含量的测定，采集 V L 烟道气通入适量酸化的 H_2O_2 溶液中，使 NO_x 完全被氧化为硝酸根离子，加水稀释至 100.00 mL。量取 20.00 mL 该溶液，加入 V_1 mL c_1 mol·L^{-1} 过量 $FeSO_4$ 标准溶液($3Fe^{2+}+NO_3^-+4H^+=\!=\!=NO\uparrow+3Fe^{3+}+2H_2O$)，充分反应后，用 c_2 mol·L^{-1} $K_2Cr_2O_7$ 标准溶液滴定剩余的 Fe^{2+}，终点时平均消耗 V_2 mL。

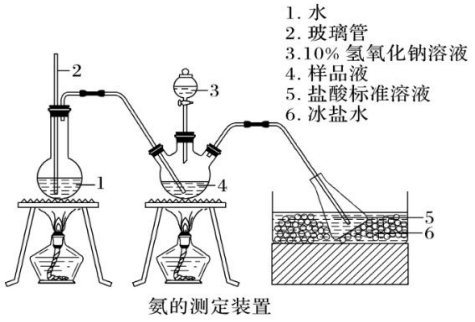
(1)NO 被 H_2O_2 氧化为 NO_3^- 的离子方程式是_____。

(2)若气样中 NO_x 按 NO_2 计算，则 NO_2 的含量为_____mg·m^{-3}。

(3)若 $FeSO_4$ 标准溶液部分变质，对 NO_x 含量测定结果的影响是_____(填“偏高”“偏低”或“无影响”)

2.硫酸四氨合铜晶体｛$[Cu(NH_3)_4]SO_4\cdot H_2O$｝在工业上用途广泛，常温下该物质在空气中不稳定，受热时易发生分解。晶体中氨含量的测定方法如下：

精确称取 w g 晶体，加适量水溶解，注入如图所示的三颈烧瓶中，然后逐滴加入足量 10%NaOH 溶液，通入水蒸气，将样品液中的氨全部蒸出，并用蒸馏水冲洗导管内壁，用 V_1 mL 0.5 mol·L^{-1} 的盐酸标准溶液完全吸收。取下接收瓶，用 0.5 mol·L^{-1} NaOH 标准溶液滴定过剩的 HCl，到终点时消耗 V_2 mL NaOH 溶液。



氨的测定装置

(1)装置 1 中长玻璃管的作用：_____。

(2)为减少误差，用 NaOH 标准溶液滴定过剩 HCl 溶液时最好使用_____(填“酚酞”或“甲基橙”)作指示剂。

(3)样品中氨的质量分数为_____(用含 w、V_1、V_2 的代数式表示)。

(4)下列实验操作可能使氨含量的测定结果偏高的是_____(填字母)。

A.滴定时未用 NaOH 标准溶液润洗滴定管

B.读数时，滴定前平视，滴定后俯视

C.将样品液中的氨全部蒸出后，未用蒸馏水冲洗导管内壁

D.取下接收瓶前，未用蒸馏水冲洗插入接收瓶中的导管外壁

3.过氧乙酸(含有少量 H_2O_2 杂质)的含量测定流程如图。

取样 ⟶ H_2SO_4 酸化 ⟶ $KMnO_4$ 溶液除 H_2O_2 ⟶ 加过量 $FeSO_4$ 溶液还原 CH_3COOOH ⟶ $K_2Cr_2O_7$ 溶液测定剩余 $FeSO_4$ 溶液

(1)判断 H_2O_2 恰好除尽的实验现象是_____。

(2)过氧乙酸被 Fe^{2+}还原，还原产物之一为乙酸，其离子方程式为_____。

(3)若样品体积为 V_0 mL，加入 c_1 mol·L^{-1} $FeSO_4$ 溶液 V_1 mL，消耗 c_2 mol·L^{-1} $K_2Cr_2O_7$ 溶液 V_2 mL。则过氧乙酸的含量为_____g·L^{-1}。

4.沉淀滴定法是测定粒子浓度的方法之一，为了测定废水中 SCN^-的浓度，可用标准 $AgNO_3$ 溶液滴定待测液。已知：

物质	AgCl	AgI	AgCN	Ag_2CrO_4	AgSCN
颜色	白	黄	白	砖红	白
K_{sp}	1.8×10^{-10}	8.3×10^{-17}	1.2×10^{-16}	3.5×10^{-11}	1.0×10^{-12}

(1)滴定时可选为滴定指示剂的是_____(填字母)。

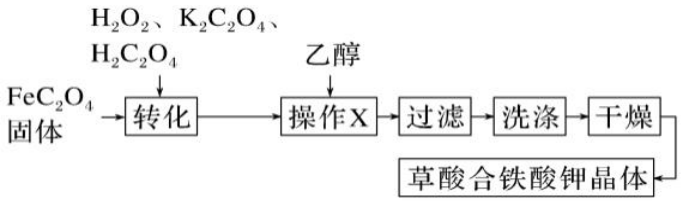
A.NaCl 溶液　　B.K_2CrO_4 溶液　　C.KI 溶液　　D.NaCN 溶液

(2)如何确定该滴定过程的终点：_____。

(3)已知：ClNO 与 H_2O 反应生成 HNO_2 和 HCl。通过以下实验测定 ClNO 样品的纯度。取 m g ClNO 样品溶于水，配制成 250 mL 溶液，取出 25.00 mL 样品于锥形瓶中，以 K_2CrO_4 溶液作为指示剂，用 c mol·L^{-1} $AgNO_3$ 标准溶液滴定至终点，消耗标准溶液的体积为 20.00 mL。亚硝酰氯(ClNO)的质量分数为_____。

[已知：Ag_2CrO_4 为砖红色固体；$K_{sp}(AgCl)=1.8\times10^{-10}$，$K_{sp}(Ag_2CrO_4)=3.5\times10^{-11}$]

5.草酸合铁(III)酸钾晶体：{$K_a[Fe(C_2O_4)_b]\cdot cH_2O$}易溶于水，难溶于乙醇，110 ℃可完全失去结晶水，是制备某些铁触媒的主要原料。实验室通过下列方法制备 $K_a[Fe(C_2O_4)_b]\cdot cH_2O$ 并测定其组成：



I.草酸合铁酸钾晶体的制备

(1)“转化”过程中若条件控制不当，会发生 H_2O_2 氧化 $H_2C_2O_4$ 的副反应，写出该副反应的化学方程式：_____。

(2)“操作 X”中加入乙醇的目的是_____。

II.草酸合铁酸钾组成的测定

步骤 1：准确称取两份质量均为 0.4910 g 的草酸合铁酸钾样品

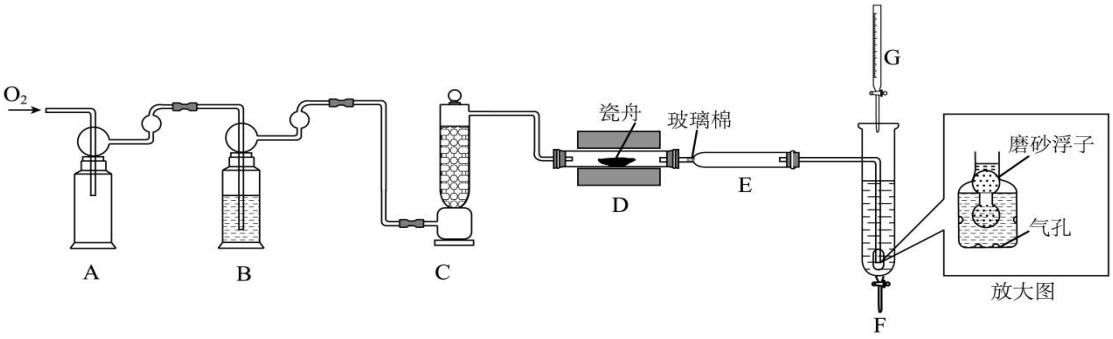
步骤 2：一份在 N_2 氛围下保持 110 ℃加热至恒重，称得残留固体质量为 0.4370 g

步骤 3：另一份完全溶于水后，让其通过装有某阴离子交换树脂的交换柱{发生反应：aRCl＋$[Fe(C_2O_4)_b]^{a-}$ ⟹ $R_a[Fe(C_2O_4)_b]$＋$a$$Cl^-$}，用蒸馏水冲洗交换柱，收集交换出的 Cl^-，以 K_2CrO_4 为指示剂，用 0.1500 mol·L^{-1} $AgNO_3$ 溶液滴定至终点，消耗 $AgNO_3$ 溶液 20.00 mL

(3)若步骤 3 中未用蒸馏水冲洗交换柱，则测得的样品中 K^+的物质的量_____(填“偏大”“偏小”或“不变”)

(4)通过计算确定草酸合铁酸钾样品的化学式为_____。

6．(2024·山东)利用“燃烧—碘酸钾滴定法”测定钢铁中硫含量的实验装置如下图所示（夹持装置略）。



实验过程如下：

①加样，将 a mg 样品加入管式炉内瓷舟中（瓷舟两端带有气孔且有盖），聚四氟乙烯活塞滴定管 G 内预装 c(KIO_3):c(KI)略小于 1:5 的 KIO_3 碱性标准溶液，吸收管 F 内盛有盐酸酸化的淀粉水溶液。向 F 内滴入适量 KIO_3 碱性标准溶液，发生反应：$KIO_3 + 5KI + 6HCl = 3I_2 + 6KCl + 3H_2O$，使溶液显浅蓝色。

②燃烧：按一定流速通入 O_2，一段时间后，加热并使样品燃烧。

③滴定：当 F 内溶液浅蓝色消退时（发生反应：$SO_2 + I_2 + 2H_2O = H_2SO_4 + 2HI$），立即用 KIO_3 碱性标准溶液滴定至浅蓝色复现。随 SO_2 不断进入 F，滴定过程中溶液颜色“消退-变蓝”不断变换，直至终点。

回答下列问题：

(1)取 20.00mL 0.1000 mol/L KIO_3 的碱性溶液和一定量的 KI 固体，配制 1000mLKIO_3 碱性标准溶液，下列仪器必须用到的是_____（填标号）。

A.玻璃棒　　B.1000 mL 锥形瓶　　C.500 mL 容量瓶　　D.胶头滴管

(2)置 B 和 C 的作用是充分干燥 O_2，B 中的试剂为_____。装置 F 中通气管末端多孔玻璃泡内置一密度小于水的磨砂浮子（见放大图），目的是_____。

(3)该滴定实验达终点的现象是_____；滴定消耗 KIO_3 碱性标准溶液 V mL，样品中硫的质量分数是_____（用代数式表示）。

(4)若装置 D 中瓷舟未加盖，会因燃烧时产生粉尘而促进 SO_3 的生成，粉尘在该过程中的作用是_____；若装置 E 冷却气体不充分，可能导致测定结果偏大，原因是_____；若滴定过程中，有少量 IO_3^- 不经 I_2 直接将 SO_2 氧化成 H_2SO_4，测定结果会_____（填“偏大”“偏小”或“不变”）。

专题二 化学反应原理

热点题空 1　热化学反应与催化机理循环图

【必备知识】

1．计算反应热(Δ*H*)的方法

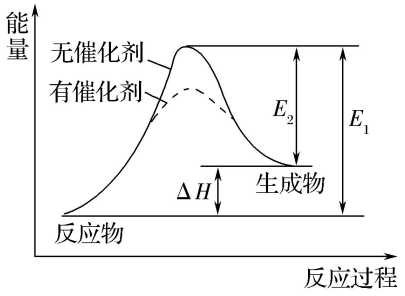
(1)根据(相对)能量计算Δ*H*：Δ*H*＝*E*(生成物的总能量)－*E*(反应物的总能量)

(2)根据键能计算Δ*H*：Δ*H*＝*E*(反应物的键能总和)－*E*(生成物的键能总和)

常见物质中的化学键数目

物质	CO_2(C═O)	CH_4(C－H)	P_4(P－P)	SiO_2(Si－O)	石墨	金刚石	Si	S_8(S－S)
键数	2	4	6	4	1.5	2	2	8

(3)从活化能角度分析计算：Δ*H*＝E_1(正反应的活化能)－E_2(逆反应的活化能)



2．利用盖斯定律书写热化学方程式的步骤和方法

(1)步骤

①对比：对比分析目标热化学方程式和已知热化学方程式，调整已知热化学方程式的化学计量系数与目标热化学方程式的化学计量系数一致

②叠加：根据目标热化学方程式中的反应物和生成物加减所调整的热化学方程式

③计算：按照“叠加”步骤中的调整方法，焓变也随之作相应变化

(2)技巧：同边加号异边负，焓的变化跟系数。

3．热化学方程式书写注意事项

(1)注意Δ*H* 符号及单位：逆反应的反应热与正反应的反应热数值相等，但符号相反。

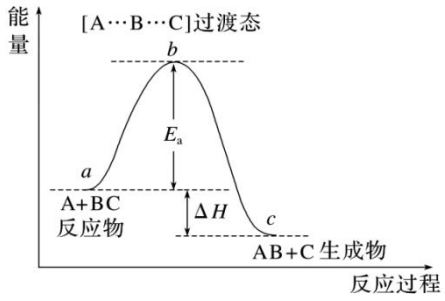
(2)注意热化学方程式中的化学计量数，如果化学计量数加倍，则Δ*H* 也要加倍。

(3)注意物质的聚集状态：气体用“g”，液体用“l”，固体用“s”，溶液用“aq”。对于具有同素异形体的物质，除了要注明聚集状态外，还要注明物质的名称。

(4)热化学方程式中可不写反应条件，不用“↑”和“↓”。

4.过渡态

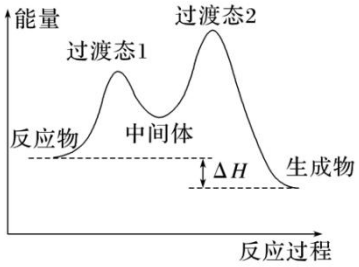
A+BC⟶[A…B…C]⟶AB+C



【注意】(1)以上为一种基元反应，其中正反应活化能 $E_{a\,正}=b-a$，逆反应活化能$E_{a逆}=b-c$， $\Delta H=E_{a\,正}-E_{a逆}$。

(2)过渡态[A…B…C]不稳定。

5.中间体



备注：处于能量最高点的是反应的过渡态，在多步反应中两个过渡态之间的是中间体，中间体很活泼，寿命很短，但是会比过渡态更稳定些。

6.催化机理能垒图

(1)在催化机理能垒图中，有几个活化状态，就有几个基元反应。可以用图中每步基元反应前后的活性物质，写出其热化学方程式。注意：如果纵坐标相对能量的单位是电子伏特(eV)，焓变应转化成每摩尔（1 kJ· mol⁻¹≈ 0.01035 eV）。

(2)每步基元反应的快慢取决于其能垒的大小，能垒越大，反应速率越慢。

7.催化机理循环图

（1）催化剂：在连续反应中从一开始就参与了反应，在最后又生成，所以仅从结果上来看似乎并没有发生变化，实则是消耗多少后续又生成了多少。

（2）中间产物：在连续反应中为某一步的产物，在后续反应中又作为反应物被消耗，所以仅从结果上来看似乎并没有生成，实则是生成多少后续又消耗多少。

例如：在含少量 I^-的溶液中，H_2O_2 分解的机理为

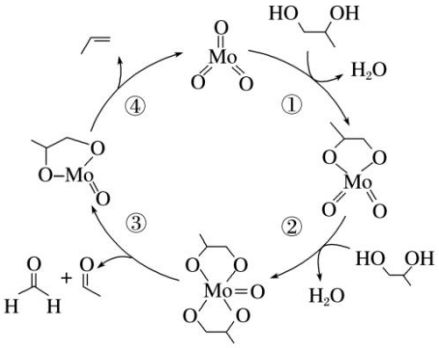
$H_2O_2+I^-\longrightarrow H_2O+IO^-$　　慢

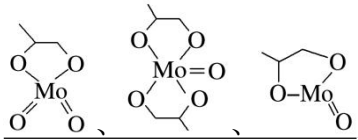
$H_2O_2+IO^-\longrightarrow O_2+I^-+H_2O$　快

在该反应中 I^-为催化剂，IO^-为中间产物。

而在机理图中，先找到确定的反应物（反应物一般是通过一个箭头进入整个历程的物质；生成物一般是通过一个箭头最终脱离这个历程的物质)，与反应物同时参加反应的就是催化剂，并且经过一个完整循环之后又会生成；中间产物则是这个循环中的任何一个环节。

例如：如图是 1，2-丙二醇脱氧脱水反应的催化循环机理：





MoO_3是该反应的催化剂，　、　、　为中间产物，生成物除水外还有 $CH_3CH{=}CH_2$、HCHO、CH_3CHO。

【题组训练】

1．二氧化碳回收利用是环保科学研究的热点课题。已知 CO_2 经催化加氢可合成低碳烯烃：

$2CO_2(g)+6H_2(g)\rightleftharpoons CH_2{=}CH_2(g)+4H_2O(g)\quad \Delta H$

(1)几种物质的能量($kJ\cdot mol^{-1}$)如表所示(在标准状态下，规定单质的能量为 0，测得其他物质生成时放出的热量为其具有的能量)：

物质	$CO_2(g)$	$H_2(g)$	$CH_2{=}CH_2(g)$	$H_2O(g)$
能量/$kJ\cdot mol^{-1}$	−394	0	52	−242

$\Delta H=$_____$kJ\cdot mol^{-1}$

(2)几种化学键的键能($kJ\cdot mol^{-1}$)

化学键	C═O	H—H	C═C	H—C	H—O
键能/$kJ\cdot mol^{-1}$	803	436	615	a	463

$a=$_____

2．水煤气变换部分基元反应如下(已知：*表示催化剂表面活性位，A^*表示金属表面吸附物种)：

基元反应	活化能 E_a/eV	反应热ΔH/eV
①$CO+H_2O+2^*{=}{=}CO^*+H_2O^*$	0	−1.73
②$H_2O^*+^*{=}{=}H^*+OH^*$	0.81	−0.41

第②步基元反应逆反应的活化能为_____eV

3．运用盖斯定律书写下列热化学方程式：

已知：25 ℃、101 kPa 时，$Mn(s)+O_2(g){=}{=}MnO_2(s)\quad \Delta H=-520\ kJ\cdot mol^{-1}$

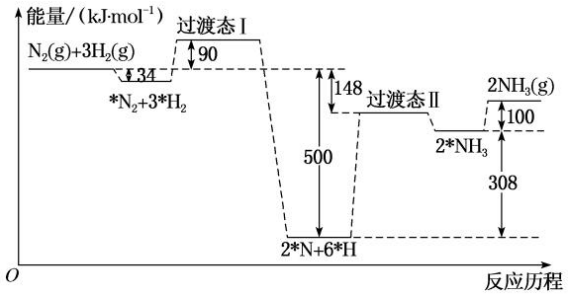
$S(s)+O_2(g){=}{=}SO_2(g)\quad \Delta H=-297\ kJ\cdot mol^{-1}$

$Mn(s)+S(s)+2O_2(g){=}{=}MnSO_4(s)\quad \Delta H=-1\ 065\ kJ\cdot mol^{-1}$

则 SO_2 与 MnO_2 反应生成无水 $MnSO_4$ 的热化学方程式是_____。

4．298 K 时，1 g H_2 燃烧生成 $H_2O(g)$放热 121 kJ,1 mol $H_2O(l)$蒸发吸热 44 kJ，表示 H_2 燃烧热的热化学方程式为_____

5．工业合成氨的反应：$N_2(g)+3H_2(g)\rightleftharpoons 2NH_3(g)$是人工固氮的主要手段，对人类生存、社会进步和经济发展都有重大意义。合成氨反应的反应历程和能量变化如下图所示：

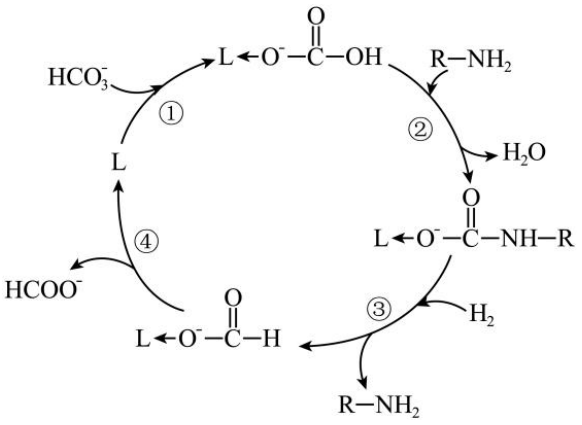


(1)$N_2(g)+3H_2(g)\rightleftharpoons 2NH_3(g)\quad \Delta H=$_____

(2)对总反应速率影响较小的步骤的能垒(活化能)为_____$kJ\cdot mol^{-1}$，该步骤的化学方程式为_____

6．碳酸氢钠催化氢化制备甲酸盐是现代储氢的新研究方向，其可能的一种反应历程如图所示。

下列说法错误的是



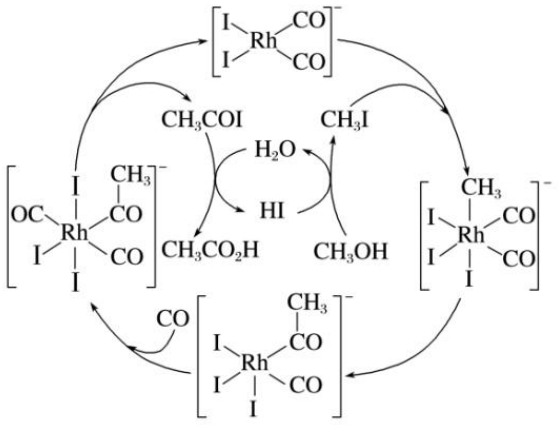
A．物质 L 和 R-NH_2 均为反应的催化剂

B．反应过程中只发生了极性键的断裂和形成，不存在非极性键的断裂和形成

C．该反应每生成 1mol $HCOO^-$，转移的电子数为 $2N_A$

D．用 D_2 代替 H_2，反应可得 $DCOO^-$

7.(2020·全国卷I，10)铑的配合物离子$[Rh(CO)_2I_2]^-$可催化甲醇羰基化，反应过程如图所示。



下列叙述错误的是(　　)

A.CH_3COI 是反应中间体

B.甲醇羰基化反应为 $CH_3OH+CO═CH_3CO_2H$

C.反应过程中 Rh 的成键数目保持不变

D.存在反应 $CH_3OH+HI═CH_3I+H_2O$

8.合成甲烷的反应原理：　$CO_2(g)+4H_2(g) \rightleftharpoons CH_4(g)+2H_2O(g)$　　ΔH_1，

在特定温度下，由稳定态单质生成 1 mol 化合物的焓变叫做该物质在此温度下的标准摩尔生成焓。表中为几种物质在 298 K 的标准摩尔生成焓。

物质	$CO_2(g)$	$CH_4(g)$	$H_2O(g)$	$H_2(g)$
标准摩尔生成焓/(kJ/mol)	-393.51	-74.85	-241.82	0

经计算，ΔH_1=_____kJ· mol^{-1}。

热点题空 2　陌生电化学装置中电极方程式的书写

【必备知识】

1．电极反应的书写方法

(1)拆分法：针对比较简单的原电池可以采取拆分法，先确定原电池的正、负极，列出正、负极上反应的物质，并标出相同数目电子的得失

a．写出原电池的总反应，如 $2Fe^{3+}+Cu=2Fe^{2+}+Cu^{2+}$

b．把总反应按氧化反应和还原反应拆分为两个半反应，注明正、负极，并依据质量守恒、电荷守恒及电子得失守恒配平两个半反应，正极：$2Fe^{3+}+2e^-=2Fe^{2+}$；负极：$Cu-2e^-=Cu^{2+}$

(2)加减法：正、负极反应相加得到电池反应的离子方程式。反之，若能写出已知电池的总反应的离子方程式，可以减去较易写出的电极反应式，从而得到较难写出的电极反应式

复杂电极反应式=总反应式—简单的电极反应式

a．写出总反应，如 $Li+LiMn_2O_4=Li_2Mn_2O_4$

b．写出其中容易写出的一个半反应(正极或负极)，如负极：$Li-e^-=Li^+$

c．利用总反应式与上述的一极反应式相减，即得另一个电极的反应式，即

正极：$LiMn_2O_4+Li^++e^-=Li_2Mn_2O_4$

(3)“三步法”书写电极反应——按顺序书写：以“甲醇——氧气——KOH 溶液”为例

以“甲醇——氧气——KOH 溶液”为例	
第一步：得失电子守恒	失电子 $\xrightarrow{-me^-}$ 电荷数为 $+m$；得电子 $\xrightarrow{+ne^-}$ 电荷数为 $-n$
	负极的甲醇在碱性环境中变成 CO_3^{2-} 失去 6 个电子，写成 $-6e^-$；正极的 O_2 到底是变成了 OH^- 还是 H_2O，一定是得到 4 个电子，写成 $+4e^-$，此步称之为得、失电子守恒
	负极反应：$CH_3OH-6e^-—CO_3^{2-}$； 正极反应：O_2+4e^-—；
第二步：电荷守恒	此时负极反应左边的电荷数为+6，右边的电荷数为−2，电荷显然不守恒，为了使左、右两边电荷守恒必需在左边配 <u>8 个 OH^-</u>；正极反应的左边电荷数为−4，右边的电荷数为 0，为了使左、右两边电荷守恒必需在右边配 <u>4 个 OH^-</u>，此步称之为电荷守恒
	负极反应：$CH_3OH—6e^-+8OH^-—CO_3^{2-}$； 正极反应：$O_2+4e^-—4OH^-$；
第三步：原子守恒	观察负极反应左、右两边的原子个数，C 守恒，H、O 不守恒，需在右边配 <u>6 个 H_2O</u>；而正极反应 H、O 不守恒，需在左边配 <u>2 个 H_2O</u>，此步称之为原子守恒
	负极反应：$CH_3OH—6e^-+8OH^-+6H_2O=CO_3^{2-}$； 正极反应：$O_2+4e^-+2H_2O=4OH^-$；

【微点拨】

①该法书写电极是各写各电极，因此正负极电子数可能不相等，所以最后再用最小公倍数写出总方程式

②若为酸性介质，通常先补 H^+，另一边补 H_2O；若为碱性介质，通常先补 OH^-，另一边补 H_2O

③有机物中化合价处理方法：“氧−2，氢+1，最后算碳化合价”，并且要注意溶液环境与产物之间的反应，碱性环境下，C 元素最终产物应为 CO_3^{2-}

④水溶液中不能出现 O^{2-}；碱性溶液反应物、生成物中均无 H^+；酸性溶液反应物、生成物中均无 OH^-，中性溶液反应物中无 H^+ 和 OH^-

2．书写反应式的技巧——与氧化还原反应方程式基本一致

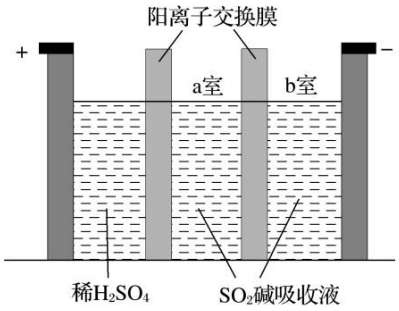
(1)审题干及装置图，明确是原电池还是电解池；审要求，明确写哪个电极上的反应，是写电极反应还是电池反应

(2)仔细研究装置图中的物质变化或微粒变化，确定反应物和产物

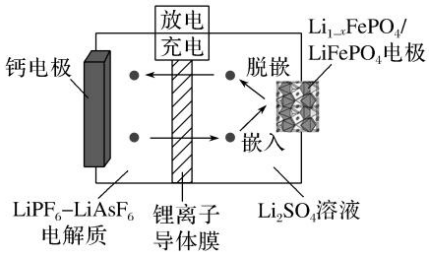
(3)分析反应方向及化合价变化，根据得失电子守恒、电荷守恒、元素守恒以及电解质的酸碱性等，配平电极反应式

【题组训练】

1．制备 $Na_2S_2O_5$ 也可采用三室膜电解技术，装置如图所示，其中 SO_2 碱吸收液中含有 $NaHSO_3$ 和 Na_2SO_3。阳极的电极反应式为_____，电解后，_____室的 $NaHSO_3$ 浓度增加。将该室溶液进行结晶脱水，可得到 $Na_2S_2O_5$

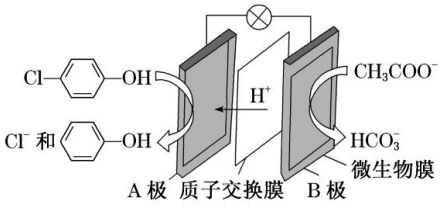


2．2019 年诺贝尔化学奖颁给在锂离子电池发展方面作出突出贡献的三位科学家，颁奖词中说：他们创造了一个可再充电的世界。下面是最近研发的 Ca－$LiFePO_4$ 可充电电池的工作示意图，锂离子导体膜只允许 Li^+通过，电池反应为：$xCa^{2+}+2LiFePO_4 \underset{\text{放电}}{\overset{\text{充电}}{\rightleftharpoons}} xCa+2Li_{1-x}FePO_4+2xLi^+$。



正极反应：_____；阴极反应：_____

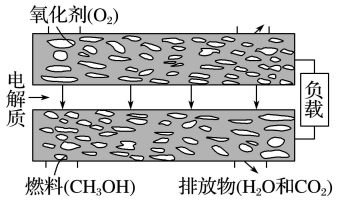
3．含乙酸钠和对氯酚(ClOH)的废水可以利用微生物电池除去，其原理如图所示



①B 是电池的_____(填“正”或“负”)极

②A 极的电极反应式为_____

4．新型固体燃料电池的电解质是固体氧化锆和氧化钇，高温下允许氧离子(O^{2-})在其间通过。如图所示，其中多孔电极不参与电极反应

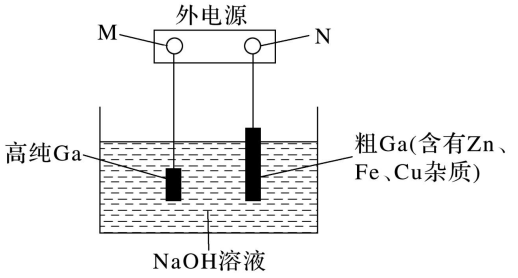


(1)该电池的负极反应式为_____

(2)如果用该电池作为电解装置，当有 16 g 甲醇发生反应时，则理论上提供的电量表达式为_____ (1 个电子的电量为 1.6×10^{-19}C)

5．以 CH_4(g)为燃料可以设计甲烷燃料电池，该电池以稀 H_2SO_4 作电解质溶液，其负极电极反应式为_____，已知该电池的能量转换效率为 86.4%，甲烷的燃烧热为 -890.3 kJ·mol^{-1}，则该电池的比能量为_____kW·h·kg^{-1}[结果保留 1 位小数，比能量＝$\frac{\text{电池输出电能(kW·h)}}{\text{燃料质量(kg)}}$，1 kW·h＝$3.6\times10^6$ J]

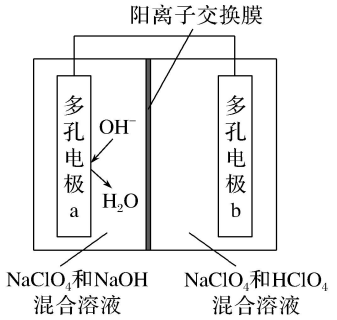
6．电解精炼法提纯镓是工业上常用的方法。具体原理如图所示(已知：镓化学性质与铝相似)：



(1)M 为电源的_____极，电解过程中阳极产生的离子迁移到达阴极并在阴极析出高纯镓。请写出电解过程中阴极的电极反应：_____

(2)电解过程中需控制合适的电压，电压太高会导致阴极电解效率下降，其可能的原因是_____。若外电路通过 0.25 mol e$^-$时，阴极得到 3.5 g 的镓。则该电解装置的电解效率η＝_____(η＝$\frac{\text{生成目标产物消耗的电子数}}{\text{转移的电子总数}}$)

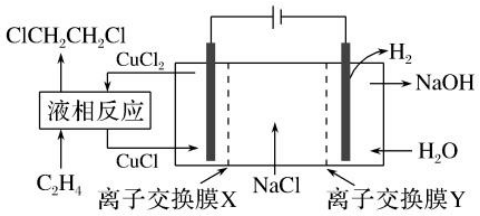
7．某科研机构研发了一种以氢气为原料的新型化学电源，该电源的两个电极上分别会消耗和生成氢气，其原理如图所示



负极反应：_____；

正极反应：_____

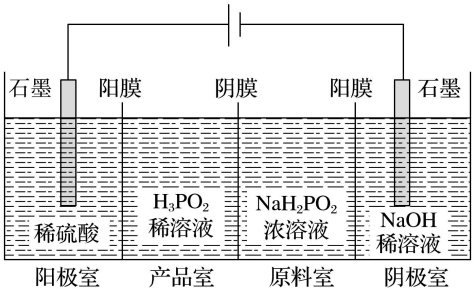
8．电解合成 1，2-二氯乙烷的实验装置如图所示。



阳极反应：_____；

阴极反应：_____

9．H_3PO_2 也可用电渗析法制备。“四室电渗析法”工作原理如图所示(阳膜和阴膜分别只允许阳离子、阴离子通过)



(1)写出阳极的电极反应式：_____

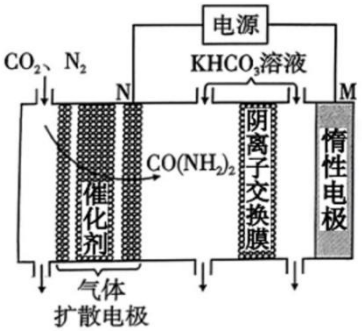
(2)分析产品室可得到 H_3PO_2 的原因：_____

(3)早期采用“三室电渗析法”制备 H_3PO_2：将“四室电渗析法”中阳极室的稀硫酸用 H_3PO_2 稀溶液代替，并撤去阳极室与产品室之间的阳膜，从而合并了阳极室与产品室。其缺点是产品中混有_____杂质。该杂质产生的原因是_____

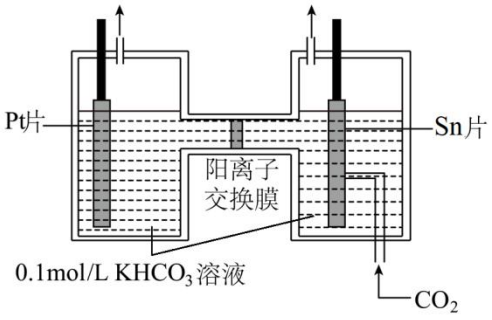
10．近期我国科研工作者用加热后的 $Ni_3(BO_3)_2$ (硼酸镍)晶体纳米片作催化剂，以CO_2、N_2 为原料，电解 $KHCO_3$ 溶液实现合成尿素。该电催化合成尿素的原理示意如图所示。

(1)M电极为_____极(填“阳”或“阴”)。

(2)N电极发生的电极反应式为_____。



10题图



11题图

11．（2019·江苏）电解法转化 CO_2 可实现 CO_2 资源化利用。电解 CO_2 制 HCOOH 的原理如图。

①写出阴极 CO_2 还原为 $HCOO^-$ 的电极反应式：_____。

②电解一段时间后，阳极区的$KHCO_3$溶液浓度降低，其原因是_____。

热点题空 3　反应速率、转化率、速率常数的计算

【高考必备知识】

1．化学反应速率计算公式

对于反应 mA(g)＋nB(g)═cC(g)＋dD(g)

(1)计算公式：v(A)＝$\frac{\Delta c(A)}{\Delta t}=\frac{\Delta n(A)}{V\cdot\Delta t}$

(2)同一反应用不同的物质表示反应速率时，数值可能不同，但意义相同。不同物质表示的反应速率，存在如下关系：v(A)∶v(B)∶v(C)∶v(D)＝m∶n∶c∶d

(3)注意事项

①浓度变化只适用于气体和溶液中的溶质，不适用于固体和纯液体

②化学反应速率是某段时间内的平均反应速率，而不是瞬时速率，且计算时取正值

2．化学平衡计算中常用公式

对于可逆反应：对以下反应：mA(g)＋nB(g) $\rightleftharpoons$ pC(g)＋qD(g)，令 A、B 起始物质的量(mol)分别为 a、b，达到平衡后，A 的消耗量为 mx mol，容器容积为 V L

	mA(g)	＋	nB(g) $\rightleftharpoons$	pC(g)	＋	qD(g)
起始/mol	a		b	0		0
变化/mol	mx		nx	px		qx
平衡/mol	$a-mx$		$b-nx$	px		qx

平衡常数：$K=\frac{c^p(\mathrm{C})\cdot c^q(\mathrm{D})}{c^m(\mathrm{A})\cdot c^n(\mathrm{B})}=\frac{(\frac{px}{V})^p\cdot(\frac{qx}{V})^q}{(\frac{a-mx}{V})^m\cdot(\frac{b-nx}{V})^n}$　(固体和纯液体的浓度为常数，不计入化学平衡常数表达式)

反应物(A)的转化率：α(A)＝$\frac{n(\text{转化})}{n(\text{起始})}\times100\%=\frac{c(\text{转化})}{c(\text{起始})}\times100\%=\frac{mx}{a}\times100\%$

生成物(C)的产率＝$\frac{\text{生成物的实际产量}}{\text{生成物的理论产量}}\times100\%=\frac{px}{p}\times100\%$

3．化学反应速率常数及应用

(1)速率常数含义：反应速率常数(k)是指在给定温度下，反应物浓度皆为 1 mol·L^{-1}时的反应速率。在相同的浓度条件下，可用反应速率常数大小来比较化学反应的反应速率

(2)速率常数的影响因素：与浓度无关，但受温度、催化剂、固体表面性质等因素的影响，但温度对化学反应速率的影响是显著的，速率常数是温度的函数，同一反应，温度不同，速率常数将有不同的值，一般温度越高，反应速率常数越大。通常反应速率常数越大，反应进行得越快。不同反应有不同的速率常数

(3)速率方程

①定义：一定温度下，对于基元反应，化学反应速率与反应物浓度以其计量数为指数的幂的乘积成正比；若为非基元反应，以实验测定的结果为准，在题目中，根据信息作答。

②表达式：对于反应：aA(g)＋bB(g) $\rightleftharpoons$ gG(g)＋hH(g)，若该反应为基元反应，则 $v_{正}=k_{正}\cdot c^a(\mathrm{A})\cdot c^b(\mathrm{B})$(其中 $k_{正}$为正反应的反应速率常数)，$v_{逆}=k_{逆}\cdot c^g(\mathrm{G})\cdot c^h(\mathrm{H})$(其中 $k_{逆}$为逆反应的反应速率常数)

如：基元反应 2NO$_2$(g) $\rightleftharpoons$ 2NO(g)＋O$_2$(g)，$v_{正}=k_{正}\cdot c^2(\mathrm{NO_2})$，$v_{逆}=k_{逆}\cdot c^2(\mathrm{NO})\cdot c(\mathrm{O_2})$。

(4)速率常数与化学平衡常数之间的关系

①K 与 $k_{正}$、$k_{逆}$的关系

对于基元反应：aA(g)+bB(g) $\rightleftharpoons$ pC(g)+qD(g)，

则：$v_{正}=k_{正}\cdot c^a(A)\cdot c^b(B)$ ($k_{正}$为正反应速率常数)，$v_{逆}=k_{逆}\cdot c^p(C)\cdot c^q(D)$ ($k_{逆}$为逆反应速率常数)

反应达到平衡时，$v_{正}=v_{逆}$，则 $k_{正}\cdot c^a(A)\cdot c^b(B)=k_{逆}\cdot c^p(C)\cdot c^q(D)$，故$\frac{k_{正}}{k_{逆}}=\frac{c^p(C)\cdot c^q(D)}{c^a(A)\cdot c^b(B)}=K$，即：$K=\frac{k_{正}}{k_{逆}}$。

②K_p 与 $k_{正}$、$k_{逆}$的关系

以 $2NO_2\rightleftharpoons N_2O_4$ 为例，$v_{正}=k_{正}\cdot p^2(NO_2)$，$v_{逆}=k_{逆}\cdot p(N_2O_4)$

反应达到平衡时 $v_{正}=v_{逆}$，此时：$k_{正}\cdot p^2(NO_2)=k_{逆}\cdot p(N_2O_4)\Rightarrow \frac{k_{正}}{k_{逆}}=\frac{p(N_2O_4)}{p(NO_2)}=K_p$，**即：**$K_p=\frac{k_{正}}{k_{逆}}$。

【题组训练】

1. (2023·河北，12)在恒温恒容密闭容器中充入一定量 W(g)，发生如下反应。

$$2W(g)\xrightarrow{①}4X(g)+Y(g)$$
$$③\Big\Downarrow②$$
$$2Z(g)$$

反应②和③的速率方程分别为 $v_2=k_2c^2(X)$和 $v_3=k_3c(Z)$，其中 k_2、k_3 分别为反应②和③的速率常数，反应③的活化能大于反应②。测得 W(g)的浓度随时间的变化如下表。

t/min	0	1	2	3	4	5
c(W)/(mol·L^{-1})	0.160	0.113	0.080	0.056	0.040	0.028

下列说法正确的是(　　)

A.0~2 min 内，X 的平均反应速率为 0.080 mol·L^{-1}·min^{-1}

B.若增大容器容积，平衡时 Y 的产率增大

C.若 $k_2=k_3$，平衡时 c(Z)=c(X)

D.若升高温度，平衡时 c(Z)减小

2. 对于反应 $CO_2(g)+H_2(g)\rightleftharpoons CO(g)+H_2O(g)$　$\Delta H>0$，反应速率 $v=v_{正}-v_{逆}=k_{正}p(CO_2)\cdot p(H_2)-k_{逆}p(CO)\cdot p(H_2O)$，其中 $k_{正}$、$k_{逆}$分别为正、逆反应速率常数，p 为气体的分压。

(1)降低温度，$k_{正}-k_{逆}$_____(填“增大”“减小”或“不变”)。

(2)在 T K、101 kPa 下，按照 $n(CO_2):n(H_2)=1:1$ 投料，CO_2 转化率为 50%时，$\frac{v_{正}}{v_{逆}}=\frac{4}{5}$，用气体分压表示的平衡常数 K_p=_____(保留小数点后一位)。

3. 化石燃料燃烧、硫酸工业等都会释放出大量的二氧化硫，针对二氧化硫排放量大的问题，我国已经采取了一系列的治理措施，减少二氧化硫排放，保障环境的稳定和持续发展。

(1)硝化法是一种古老的生产硫酸的方法，同时实现了二氧化硫的处理，主要反应：

$NO_2(g)+SO_2(g)\rightleftharpoons SO_3(g)+NO(g)$　$\Delta H<0$。

T ℃时，向 1 L 密闭容器中加入等物质的量的 NO_2 和 SO_2，达到平衡时 NO 和 NO_2 的浓度之比为 3:1，该温度下该反应的化学平衡常数为_____，温度升高，平衡常数_____(填“增大”“减小”或“不变”)。保持温度不变，向 1 L 密闭容器中同时充入 NO_2、SO_2、SO_3、NO 各 1 mol，则 $v_{正}$_____$v_{逆}$(填“>”“<”或“=”)，达到平衡时二氧化硫的转化率为_____。

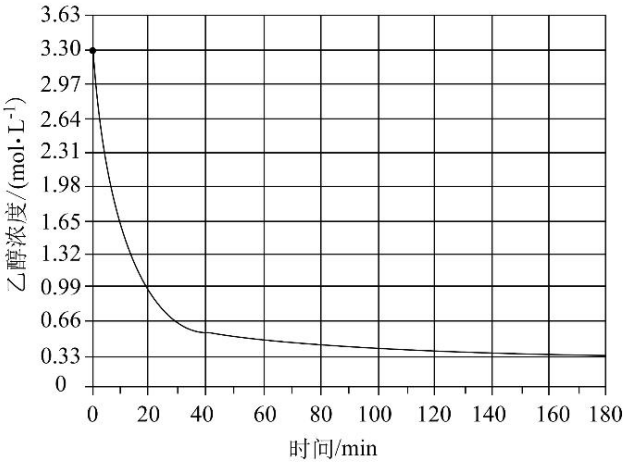
(2)模仿工业上用反应 $2SO_2(g)+O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$得到硫酸，除去工业废气中的 SO_2。现在一容积固定为 1 L 的密闭容器中进行该反应，测得如下数据：

实验组	温度/℃	起始量/mol		平衡量/mol	达平衡所需时间/min
		SO_2	O_2	SO_3	
1	550	2	1	0.5	10
2	650	1	0.5	0.4	4

①分析第 1 组和第 2 组实验数据，可以得出有关反应速率的结论是_____。

②已知，反应中 $v_{正} = k_1c^2(SO_2)\cdot c(O_2)$，$v_{逆} = k_2c^2(SO_3)$，$k_1$、$k_2$ 为速率常数。若实验组 2，1 min 时 $n(SO_3) = 0.2$ mol，则$\frac{k_1}{k_2}$=_____，$\frac{v_{正}}{v_{逆}}$=_____。

4. (2025 年·全国卷)在常压和 353.15 K 时，初始组成 $n(CH_3COOH) : n(C_2H_5OH) = 3 : 1$、$NaHSO_4$作催化剂的条件下进行酯化反应$CH_3COOH(1)+C_2H_5OH(l) \rightleftharpoons CH_3COOC_2H_5(l)+H_2O(l)$，得到乙醇浓度随反应时间的变化如下图所示。



平衡时乙酸的转化率α = _____%，平衡常数 K = _____(保留 2 位有效数字)。已知酯化反应的速率方程为$r = k_+c(CH_3COOH)c(C_2H_5OH) - k_-c(CH_3COOC_2H_5)c(H_2O)$，其中$k_+ = 1.0\times10^{-5}\ L\cdot mol^{-1}\cdot s^{-1}$，则$k_-$ = _____$L\cdot mol^{-1}\cdot s^{-1}$(保留 2 位有效数字)。

5. (2023 年·河北) (1)恒温下，将 1 mol 空气(N_2和O_2的体积分数分别为 0.78 和 0.21，其余为惰性组分)置于容积为 V L 的恒容密闭容器中，假设体系中只存在如下两个反应：

i $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$　　K_1　ΔH_1

ii $2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$　K_2　$\Delta H_2 = -114\ kJ\cdot mol^{-1}$

若上述平衡体系中 $c(NO_2) = a\ mol\cdot L^{-1}$，$c(NO) = b\ mol\cdot L^{-1}$，则 $c(O_2)$=_____$mol\cdot L^{-1}$，K_1 = _____(写出含 a、b、V 的计算式)。

(2)氢气催化还原NO_x作为一种高效环保的脱硝技术备受关注。高温下氢气还原 NO 反应的速率方程为 $v = k\cdot c^x(NO)c^y(H_2)$，k 为速率常数。在一定温度下改变体系中各物质浓度，测定结果如下表。

组号	$c(NO)/(mol\cdot L^{-1})$	$c(H_2)/(mol\cdot L^{-1})$	$v/(mol\cdot L^{-1}\cdot s^{-1})$
1	0.10	0.10	r
2	0.10	0.20	2r
3	0.20	0.10	4r
4	0.05	0.30	?

表中第 4 组的反应速率为_____$mol\cdot L^{-1}\cdot s^{-1}$。(写出含 r 的表达式)

热点题空 4　平衡常数的计算

【高考必备知识】

1．分压平衡常数(K_p)

(1)气体的分压 p(B)：相同温度下，当某组分气体 B 单独存在且具有与混合气体总体积相同的体积时，该气体 B 所具有的压强，称为气体 B 的分压强，简称气体 B 的分压。符号为 p(B)，单位为 Pa 或 kPa 或 MPa

(2)分压定律

①分压定律：混合气体的总压等于相同温度下各组分气体的分压之和

$p(A)+p(B)+p(C)+p(D)+\ldots = p$

②气体的分压之比等于其物质的量之比：$\frac{p(B)}{p(D)} = \frac{n(B)}{n(D)}$

③某气体的分压 p(B)与总压之比等于其物质的量分数：$\frac{p(B)}{p} = \frac{n(B)}{n} = x(B)$

则：气体的分压＝气体总压×体积分数＝总压×物质的量分数

(3)分压平衡常数 K_p(只受温度影响)

一定温度下，气相反应：mA(g)＋nB(g) $\rightleftharpoons$ pC(g)＋qD(g)达平衡时，气态生成物分压幂之积与气态反应物分压幂之积的比值为一个常数，称为该反应的压强平衡常数，用符号 K_p 表示，K_p 的表达式如下：

$K_p = \frac{p^p(C)p^q(D)}{p^m(A)p^n(B)}$，其中 p(A)、p(B)、p(C)、p(D)分别为 A、B、C、D 各气体的分压

2．K_p 计算的两种模板

模板 1．根据“某气体的分压＝气体总压强×该气体的体积分数(或物质的量分数)”计算压强平衡常数

第一步	根据“三段式”法计算平衡体系中各物质的物质的量或物质的量浓度
第二步	计算各气体组分的物质的量分数或体积分数。
第三步	根据分压计算公式求出各气体物质的分压，某气体的分压＝气体总压强×该气体的体积分(或物质的量分数)
第四步	根据平衡常数计算公式代入计算。例如，$N_2(g)+3H_2(g)\rightleftharpoons 2NH_3(g)$，压强平衡常数表达式为 $K_p=\frac{p^2(NH_3)}{p(N_2)\cdot p^3(H_2)}$

模板 2．当温度和容器体积保持不变时，可以直接根据分压强计算压强平衡常数

$N_2(g)$ ＋ $3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$

p(始)： p_0 $3p_0$ 0

Δp： p $3p$ $2p$

p(平)： p_0-p $3p_0-3p$ $2p$

$K_p=\frac{(2p)^2}{(p_0-p)\times(3p_0-3p)^3}$

3．其他平衡常数

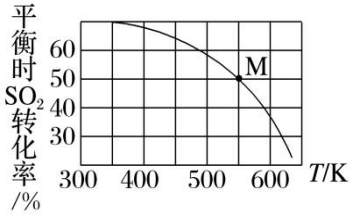
根据信息列平衡常数，如：mA(g)＋nB(g) $\rightleftharpoons$ pC(g)＋qD(g)

①用摩尔分数表示平衡常数，即$K_\chi = \frac{\chi^p(C)\cdot\chi^q(D)}{\chi^m(A)\cdot\chi^n(B)} = \frac{(\frac{n(C)}{n_{总}})^p\cdot(\frac{n(D)}{n_{总}})^q}{(\frac{n(A)}{n_{总}})^m\cdot(\frac{n(B)}{n_{总}})^n}$。

②标准平衡常数$K^\theta = \frac{(\frac{p(C)}{p^\theta})^p\cdot(\frac{p(D)}{p^\theta})^q}{(\frac{p(A)}{p^\theta})^m\cdot(\frac{p(B)}{p^\theta})^n}$，$p^\theta$为标准大气压。

【题组训练】

1．SO_2 与 Cl_2 反应可制得磺酰氯(SO_2Cl_2)，反应为 $SO_2(g)+Cl_2(g) \rightleftharpoons SO_2Cl_2(g)$。按投料比 1∶1 把 SO_2 与 Cl_2 充入一恒压的密闭容器中发生上述反应，SO_2 的转化率与温度 T 的关系如下图所示：



若反应一直保持在 p 压强条件下进行，则 M 点的压强平衡常数 K_p＝_____(用含 p 的表达式表示，用平衡分压代替平衡浓度计算，分压＝总压×体积分数)

2. 将体积分数是 8.0%的 SO_2、10%的 O_2 和 82%的其他气体(不参与反应)组成的混合气体通入反应器，在温度 t ℃、压强 p MPa 下发生反应：$2SO_2(g)+O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$。平衡时，若 SO_2 转化率为 x，则 SO_3 的分压为_____ MPa(列式即可，下同)，平衡常数 K_p＝_____ MPa^{-1} (以分压表示，分压＝总压×物质的量分数)

3. 硫酰氯(SO_2Cl_2)在有机合成上可用作磺化剂和氯化剂。无水条件下合成 SO_2Cl_2 的反应为：$SO_2(g)+Cl_2(g) \rightleftharpoons SO_2Cl_2(g)$ △H＝ - 67kJ/mol。等温下，将等物质的量的反应物加入恒容容器中，起始压强为 m kPa，发生上述反应，平衡后压强为 n kPa，平衡常数 K_p=_____$(kPa)^{-1}$(列出表达式)。

4. (2024·安徽，17)一定温度和压强下，反应i$C_2H_6(g) \rightleftharpoons C_2H_4(g)+H_2(g)$ K_{x1}

反应ii$C_2H_6(g)+H_2(g) \rightleftharpoons 2CH_4(g)$ K_{x2} (K_{x2} 远大于 K_{x1})(K_x 是以平衡物质的量分数代替平衡浓度计算的平衡常数)

①仅发生反应i时，C_2H_6 的平衡转化率为 25.0%，计算 K_{x1}＝_____。

②同时发生反应i和ii时，与仅发生反应i相比，C_2H_4 的平衡产率_____(填“增大”“减小”或“不变”)。

5. (2024·湖北，17)用 $BaCO_3$ 和焦炭为原料，经反应I、II得到 BaC_2，再制备乙炔是我国科研人员提出的绿色环保新路线。

反应I：$BaCO_3(s)+C(s) \rightleftharpoons BaO(s)+2CO(g)$

反应II：$BaO(s)+3C(s) \rightleftharpoons BaC_2(s)+CO(g)$

已知 $K_p=(p_{CO})^n$、$K=(\frac{p_{CO}}{10^5Pa})^n$($n$ 是 CO 的化学计量系数)。反应I、II的 lg K 与温度的关系曲线如图。

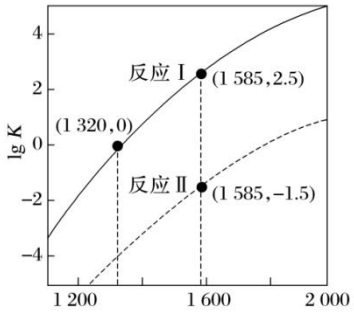
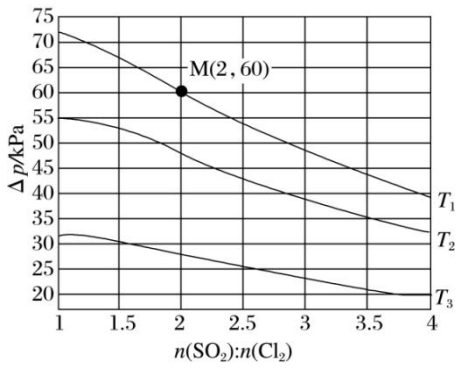


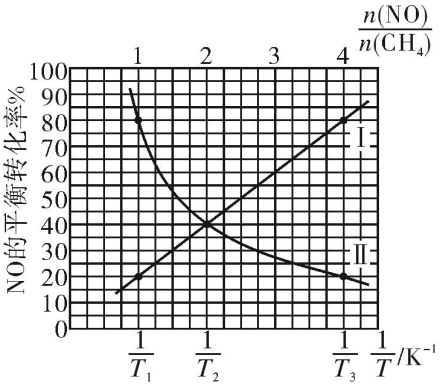
图1 lg K与T的关系曲线

①反应 $BaCO_3(s)+4C(s) \rightleftharpoons BaC_2(s)+3CO(g)$在 1585 K 的 K_p ＝ _____Pa^3。

②保持 1320 K 不变，假定恒容容器中只发生反应I，达到平衡时p_{CO} ＝_____ Pa，若将容器体积压缩到原来的$\frac{1}{2}$，重新建立平衡后p_{CO} ＝_____ Pa。

6. (2024·河北，17 节选)硫酰氯常用作氯化剂和氯磺化剂，工业上制备原理如下：$SO_2(g)+Cl_2(g) \rightleftharpoons SO_2Cl_2(g)$　$\Delta H=-67.59\ kJ\cdot mol^{-1}$。恒容密闭容器中按不同进料比充入 $SO_2(g)$和 $Cl_2(g)$，测定 T_1、T_2、T_3 温度下体系达平衡时的$\Delta p(\Delta p=p_0-p$，p_0 为体系初始压强，p_0=240 kPa，p 为体系平衡压强)如下左图。M 点 Cl_2 的转化率为_____，T_1 温度下用分压表示的平衡常数 K_p ＝_____ kPa^{-1}。





7. 向总压为 100 kPa 的恒容密闭容器中充入一定量的$CH_4(g)$和 NO(g)，发生反应 $CH_4(g)+4NO(g) \rightleftharpoons 2N_2(g)+CO_2(g)+2H_2O(g)$　$\Delta H<0$。在T_3 K 下 NO 的平衡转化率随$\frac{n(NO)}{n(CH_4)}$的变化曲线及当$\frac{n(NO)}{n(CH_4)}=x$ 时 NO 的平衡转化率随$\frac{1}{T}$(温度的倒数)的变化曲线如上右图所示。

①表示T_3 K 下，NO 的平衡转化率随$\frac{n(NO)}{n(CH_4)}$的变化曲线为曲线_____(填“I”或“II”)，判断理由是_____

_____。

②T_1_____T_2(填“>”或“<”)；x ＝_____。

③T_3 K 下，$\frac{n(NO)}{n(CH_4)}=1$ 时，平衡时N_2的体积分数为_____；已知：该温度下，反应的标准平衡常数$K^\theta=\frac{\frac{p(CO_2)}{p^\theta}\times\left(\frac{p(N_2)}{p^\theta}\right)^2\times\left(\frac{p(H_2O)}{p^\theta}\right)^2}{\left(\frac{p(NO)}{p^\theta}\right)^4\times\frac{p(CH_4)}{p^\theta}}$，其中$p^\theta$为标准压强，$p^\theta=100\ kPa$，$p(CH_4)$、$p(NO)$、$p(CO_2)$、$p(N_2)$和$p(H_2O)$为各组分的平衡分压，则该温度下该反应的标准平衡常数K^θ ＝_____。

热点题空 5　多重平衡在连续反应及竞争反应中的相关计算

——两类平衡常数、平衡浓度、转化率计算

类型一、连续反应

连续反应是指有关的两个可逆反应有着关联，第一个反应的某一生成物，是第二个反应的反应物。解题时要注意如果该物质是第一个反应的生成物，第二个反应的反应物；则在第一个反应中，该物质的初始量为0，它的平衡量则为第二个反应中该物质的初始量 (在计算第二个反应的转化率尤为重要)。

【典题示例 1】二甲醚是一种清洁能源，用水煤气制取二甲醚的原理如下：

Ⅰ．$CO(g)+2H_2(g)\rightleftharpoons CH_3OH(g)$

Ⅱ．$2CH_3OH(g)\rightleftharpoons CH_3OCH_3(g)+H_2O(g)$

500K 时，在 2L 密闭容器中充入 4molCO 和 8molH_2，4min 达到平衡，平衡时 CO 的转化率为 80%，且 $2c(CH_3OH)=c(CH_3OCH_3)$，则：

①0～4min，反应 I 的 $v(H_2)$＝_____

②反应 II 中 CH_3OH 的转化率α＝_____，反应 I 的平衡常数 K＝_____

类型二、竞争反应(平行反应)

平行反应是指反应物能同时平行地进行两个或两个以上的不同反应，得出不同的产物。其中反应较快或产物在混合物中所占比率较高的称为主反应，其余称为副反应。解题时要注意如果一个物质是两个平行反应的反应物，则题目中所给初始量则是该物质在这两个反应中的初始量之和。

【典题示例 2】CO_2 催化(固体催化剂)加氢合成甲烷：

主反应：$CO_2(g)+4H_2(g)\rightleftharpoons CH_4(g)+2H_2O(g)$　$\Delta H_1=-165\ kJ\cdot mol^{-1}$

副反应：$CO_2(g)+H_2(g)\rightleftharpoons CO(g)+H_2O(g)$　$\Delta H_2=+41.1\ kJ\cdot mol^{-1}$

向某恒容密闭容器中充入一定量的 CO_2 和 H_2，其分压分别为 0.85 MPa、2.7 MPa，在温度 t ℃、某催化剂催化下发生甲烷化反应，一段时间后，主、副反应均达平衡(不考虑其他副反应)，测得容器内 CH_4 和 H_2O 的分压分别为 0.6 MPa、1.25 MPa，则主反应的分压平衡常数 K_p＝_____ MPa^{-2}

【典题示例 3】氢气可以与煤在催化剂作用下制备乙炔，其总反应式为：$2C(s)+H_2(g)\rightleftharpoons C_2H_2(g)$ ΔH。已知部分反应如下：

Ⅰ.$C(s)+2H_2(g)\rightleftharpoons CH_4(g)$　$\Delta H_1=-74.85kJ\cdot mol^{-1}$；

Ⅱ．$2CH_4(g)\rightleftharpoons C_2H_4(g)+2H_2(g)$　$\Delta H_2=+340.93kJ\cdot mol^{-1}$；

Ⅲ．$C_2H_4(g)\rightleftharpoons C_2H_2(g)+H_2(g)$　$\Delta H_3=+35.50kJ\cdot mol^{-1}$；

一定条件下，向 2L 的恒容密闭容器中加入足量碳粉和 1mol H_2，发生上述反应Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ，5min 后容器内总压强不再变化，容器中CH_4为 0.1mol，C_2H_4为 0.1mol，C_2H_2为 0.3mol，5min 内H_2的平均反应速率 $v(H_2)$=_____，反应I的平衡常数 K(I) =_____ (写出计算式)。

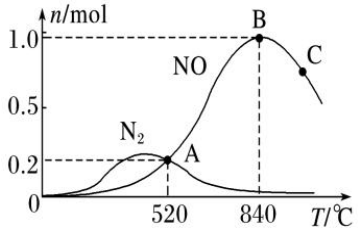
【题组训练】

1．NH_3作为一种重要化工原料，被大量应用于工业生产，与其有关性质反应的催化剂研究曾被列入国家863计划。催化剂常具有较强的选择性，即专一性。已知：

反应I：$4NH_3(g)+5O_2(g)\rightleftharpoons 4NO(g)+6H_2O(g)$　$\Delta H=-905.0\ kJ\cdot mol^{-1}$

反应 II：$4NH_3(g)+3O_2(g)\rightleftharpoons 2N_2(g)+6H_2O(g)$　$\Delta H=-1266.6kJ\cdot mol^{-1}$

氨催化氧化时会发生上述两个竞争反应I、II。为分析某催化剂对该反应的选择性，在1L密闭容器中充入1 mol NH_3和2mol O_2，测得有关物质的量关系如下图：



(1)该催化剂在低温时选择反应_____(填“ I ”或“ II”)

(2)520 ℃时，NH_3的转化率为_____

(3)520 ℃时，反应II的平衡常数K=_____(列出计算式即可，不要求得出计算结果)

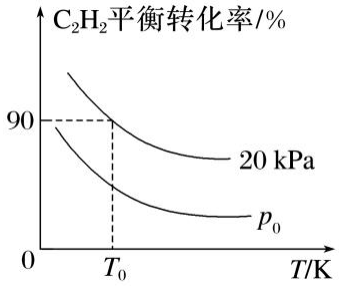
(4)C点比B点所产生的NO的物质的量少的主要原因_____

2．我国科学家成功开发Pd－Fe/Fe_2O_3催化剂在低温条件下高选择性合成高纯度的乙烯，化学原理为：

主反应：$C_2H_2(g)+H_2(g)\rightleftharpoons C_2H_4(g)$　ΔH_1

副反应：$C_2H_2(g)+2H_2(g)\rightleftharpoons C_2H_6(g)$　ΔH_2

在密闭容器中充入1 mol C_2H_2和2 mol H_2，发生上述两个反应，测得C_2H_2平衡转化率与温度、压强的关系如图所示。在T_0 K、20 kPa下C_2H_4的选择性等于$\frac{8}{9}$[C_2H_4选择性=$\frac{n(C_2H_4)}{n(C_2H_4)+n(C_2H_6)}$]。$p_0$_____(填“＞”“＜”或“＝”)20 kPa。T_0 K下，主反应的平衡常数K_p=_____ kPa^{-1}(K_p为用气体分压计算的平衡常数，气体分压等于气体总压×物质的量分数)。



3．探究CH_3OH合成反应化学平衡的影响因素，有利于提高CH_3OH的产率。以CO_2、H_2为原料合成CH_3OH涉及的主要反应如下：

I. $CO_2(g)+3H_2(g)\rightleftharpoons CH_3OH(g)+H_2O(g)$　$\Delta H_1=-48.5kJ\cdot mol^{-1}$

II. $CO(g)+2H_2(g)\rightleftharpoons CH_3OH(g)$　$\Delta H_2=-92.4kJ\cdot mol^{-1}$

III. $CO_2(g)+H_2(g)\rightleftharpoons CO(g)+H_2O(g)$　ΔH_3

一定条件下，向体积为VL的恒容密闭容器中通入1 mol CO_2和3 mol H_2发生上述反应，达到平衡时，容器中$CH_3OH(g)$为α mol，CO为b mol，此时$H_2(g)$的浓度为_____$mol\cdot L^{-1}$(用含a、b、V的代数式表示，下同)，反应III的平衡常数为_____。

热点题空 6　多重反应平衡图像的原因分析

【高考必备知识】

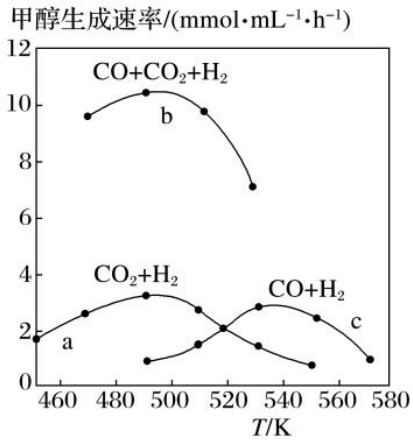
	思考方向
从化学反应速率分析	既不能过快，又不能太慢
从催化剂的活性分析	注意催化剂的活性对温度的限制，温度过高催化剂活性降低
从化学平衡移动分析	①既要注意外界条件对速率和平衡影响的一致性，又要注意二者影响的矛盾性 ②温度、压强、浓度对主、副反应平衡移动的影响 ③催化剂对反应快慢及选择性(主、副反应)的影响
从原料的利用率分析	增加易得廉价原料，提高难得高价原料的利用率，从而降低生产成本
从实际生产能力分析	设备承受高温、高压能力等

【题组训练】

1．已知：I．$CO(g)+H_2O(g)\rightleftharpoons CO_2(g)+H_2(g)$

II．$CO(g)+2H_2(g)\rightleftharpoons CH_3OH(g)$

III．$CO_2(g)+3H_2(g)\rightleftharpoons CH_3OH(g)+H_2O(g)$



如图为一定比例的 CO_2、H_2；CO、H_2；CO、CO_2、H_2 三个反应体系下甲醇生成速率与温度的关系。490 K 时，曲线 a 与曲线 b 相比，CO 的存在使甲醇生成速率增大，结合反应I、III分析原因：

_____

_____

_____

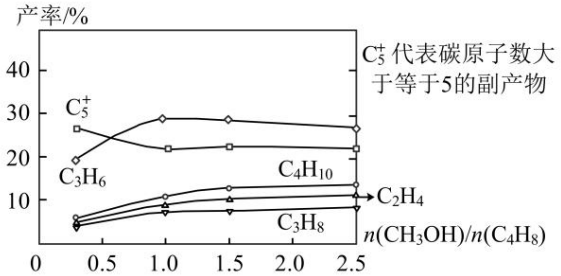
2．将甲醇转化耦合到丁烯裂解过程中生产丙烯，主要涉及下列反应：

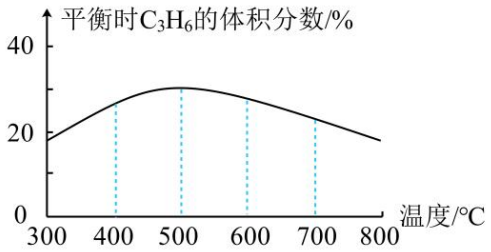
①$2C_4H_8(g)\longrightarrow 2C_3H_6(g)+C_2H_4(g)$　$\Delta H>0$　②$2CH_3OH(g)\longrightarrow C_2H_4(g)+2H_2O(g)$　$\Delta H<0$

③$C_2H_4(g)+C_4H_8(g)\longrightarrow 2C_3H_6(g)$　$\Delta H<0$

已知：甲醇吸附在催化剂上，可以活化催化剂；甲醇浓度过大也会抑制丁烯在催化剂上的转化

(1)下左图是 C_3H_6 及某些副产物的产率与$\frac{n(CH_3OH)}{n(C_4H_8)}$的关系曲线。最佳的$\frac{n(CH_3OH)}{n(C_4H_8)}$约为_____





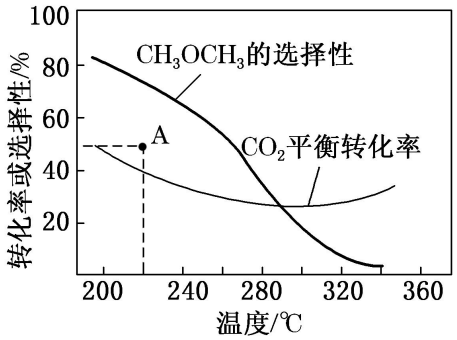
(2)上右图是某压强下，将 CH_3OH 和 C_4H_8 按一定物质的量之比投料，反应达到平衡时 C_3H_6 的体积分数随温度的变化曲线。由图可知平衡时 C_3H_6 的体积分数随温度的升高呈现先升高后降低的变化，其原因可能是_____

3．CO_2 催化加氢合成二甲醚是一种 CO_2 的转化方法，其过程中主要发生下列反应：

反应I：$CO_2(g)+H_2(g) \rightleftharpoons CO(g)+H_2O(g)$　　$\Delta H=+41.2\ kJ\cdot mol^{-1}$

反应II：$2CO_2(g)+6H_2(g) \rightleftharpoons CH_3OCH_3(g)+3H_2O(g)$　　$\Delta H=-122.5\ kJ\cdot mol^{-1}$

在恒压、CO_2 和 H_2 的起始量一定的条件下，CO_2 平衡转化率和平衡时 CH_3OCH_3 的选择性随温度的变化如图：



其中：CH_3OCH_3 的选择性$=\dfrac{2\times CH_3OCH_3\text{ 的物质的量}}{\text{反应的 }CO_2\text{ 的物质的量}}\times 100\%$

(1)温度高于 300 ℃，CO_2 平衡转化率随温度升高而上升的原因是_____

_____

(2)220 ℃时，在催化剂作用下 CO_2 与 H_2 反应一段时间后，测得 CH_3OCH_3 的选择性为 48%(图中 A 点)。不改变反应时间和温度，一定能提高 CH_3OCH_3 平衡选择性的措施有_____

_____

4．在一定条件下，由 CO_2 和 H_2 合成甲醇已成为现实，该合成对解决能源问题具有重大意义。该过程中有两个竞争反应，反应过程能量关系如图 1。

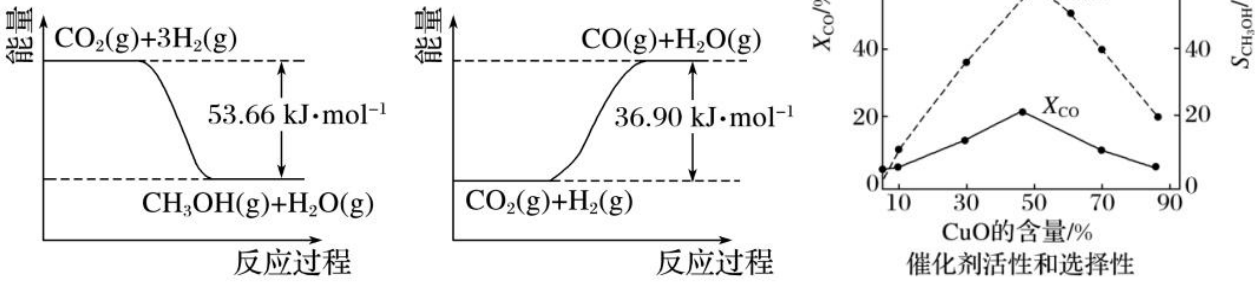


图 1　　图 2

由 CO_2 和 H_2 合成甲醇有两个竞争反应，为提高 CH_3OH 的选择性，在原料气中掺入一定量 CO，原因是

_____

_____，另外，可以通过控制双组分催化剂(CuO-ZnO)中 CuO 的含量，可提高甲醇产率，根据图 2 判断，催化剂选择性最好的 CuO 的含量为_____

5．二甲醚(CH_3OCH_3)是一种应用前景广阔的清洁燃料，以 CO 和氢气为原料生产二甲醚的新工艺主要发生以下三个反应：

编号	热化学方程式	平衡常数
①	$CO(g)+2H_2(g)\rightleftharpoons CH_3OH(g)\quad \Delta H_1$	K_1
②	$2CH_3OH(g)\rightleftharpoons CH_3OCH_3(g)+H_2O(g)\quad \Delta H_2=-24\ kJ\cdot mol^{-1}$	K_2
③	$CO(g)+H_2O(g)\rightleftharpoons CO_2(g)+H_2(g)\quad \Delta H_3=-41\ kJ\cdot mol^{-1}$	K_3

原工艺中反应①和反应②分别在不同的反应器中进行，无反应③发生。新工艺中反应③的发生提高了 CH_3OCH_3 的产率，原因是_____

_____

_____

6．二甲醚既是重要的工业品，也是燃料电池制氢的重要原料。二甲醚水蒸气重整制氢的总反应为 $CH_3OCH_3(g)+(1+2x)H_2O(g)\rightleftharpoons(4+2x)H_2(g)+(2-2x)CO(g)+2xCO_2(g)$，其过程包括：

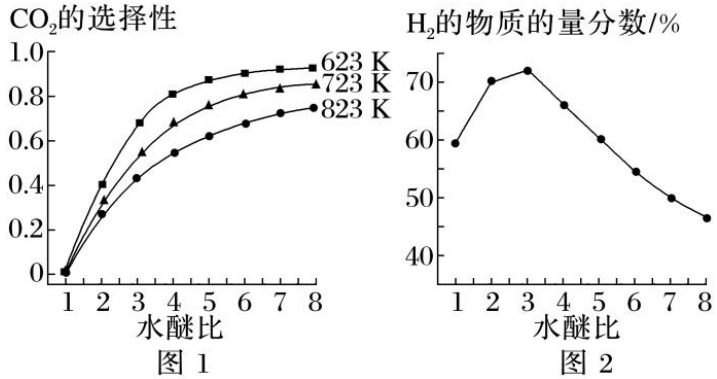
I．$CH_3OCH_3(g)+H_2O(g)\rightleftharpoons 2CH_3OH(g)\quad \Delta H_1=+23.6\ kJ\cdot mol^{-1}$

II．$CH_3OH(g)+H_2O(g)\rightleftharpoons CO_2(g)+3H_2(g)\quad \Delta H_2=+49.5\ kJ\cdot mol^{-1}$

III．$CH_3OH(g)\rightleftharpoons CO(g)+2H_2(g)\quad \Delta H_3=+90.7\ kJ\cdot mol^{-1}$

IV．$CO(g)+H_2O(g)\rightleftharpoons CO_2(g)+H_2(g)\quad \Delta H_4=-41.2\ kJ\cdot mol^{-1}$

平衡时，CO_2 的选择性($\frac{\text{产生 } CO_2 \text{ 的物质的量}}{\text{产生 CO 和 } CO_2 \text{ 的总物质的量}}$)与水醚比[$\frac{n(H_2O)}{n(CH_3OCH_3)}$]和温度的关系如图 1 所示；423 K 时，平衡时 H_2 的物质的量分数与水醚比的关系如图 2 所示：



(1)图 1 中相同温度下，水醚比越大，CO_2 的选择性越高的原因是_____

_____

相同水醚比时，温度升高，CO_2 的选择性降低的原因是_____

_____

(2)图 2 中水醚比大于 3 时，随水醚比的增大 H_2 的物质的量分数减小的原因是_____

_____

热点题空 7　平衡图像原因解释之温度、压强对平衡的影响

【必备知识】

1．影响化学平衡的因素

(1)若其他条件不变，改变下列条件对化学平衡的影响

改变的条件(其他条件不变)			化学平衡移动的方向
浓度	增大反应物浓度或减小生成物浓度		向正反应方向移动
	减小反应物浓度或增大生成物浓度		向逆反应方向移动
压强(对有气体参加的反应)	反应前后气体体积改变	增大压强	向气体分子总数减小的方向移动
		减小压强	向气体分子总数增大的方向移动
	反应前后气体体积不变	改变压强	平衡不移动
温度	升高温度		向吸热反应方向移动
	降低温度		向放热反应方向移动
催化剂	同等程度改变 $v_{正}$、$v_{逆}$，平衡不移动		

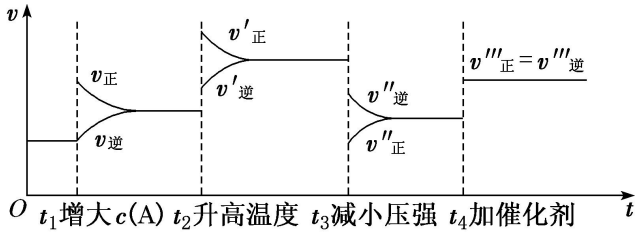
(2)“惰性气体”对化学平衡移动的影响

①恒温、恒容下：加入惰性气体$\xrightarrow{\text{引起}}$体系总压增大，但体积不变，各反应物、生成物的浓度均未改变，故反应速率不变，$v_{正}$、$v_{逆}$也不变，化学平衡也不发生移动

②恒温、恒压下：加入惰性气体$\xrightarrow{\text{引起}}$体积增大$\xrightarrow{\text{引起}}$各反应物浓度减少$\xrightarrow{\text{引起}}$反应速率减小，$v_{正}$、$v_{逆}$均减小，等效于降压，故化学平衡向气体总体积增大的方向移动

2．掌握三类平衡移动图像：反应 mA(g)＋nB(g)$\rightleftharpoons$$p$C(g)＋$q$D(g)，$m+n>p+q$，且$\Delta H<0$

(1)速率—时间图——注意断点



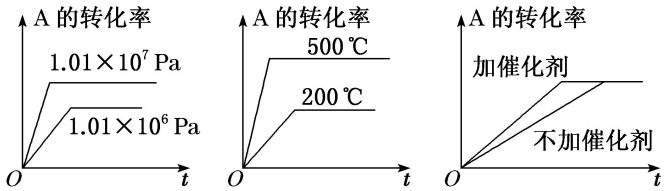
t_1时增大反应物浓度，$v_{正}$瞬间增大，再逐渐减小，而$v_{逆}$逐渐增大；

t_2时升高温度，对任何反应，$v_{正}$、$v_{逆}$均增大，吸热反应的$v_{正}$增大较快；

t_3时减小压强，容器容积增大，浓度变小，$v_{正}$、$v_{逆}$均减小；

t_4时使用催化剂，$v_{正}$、$v_{逆}$均瞬间增大

(2)转化率(或含量)—时间图——先拐先平（数值大）

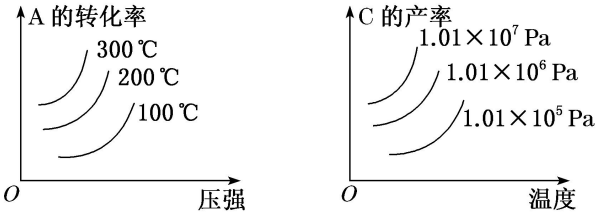


甲：表示压强对反应物转化率的影响。压强越大，化学反应速率越快（斜率大）；对于前后气体分子数减小的反应，压强越大，反应物平衡转化率越大（平台高）。

乙：表示温度对反应物转化率的影响。温度越高，化学反应速率越快；对于吸热反应，温度越高，反应物平衡转化率越大。

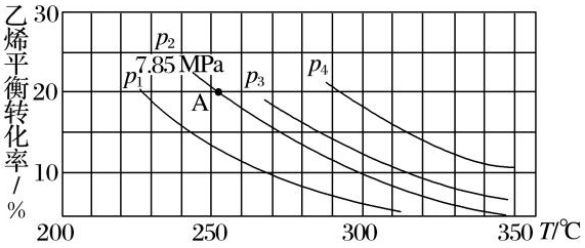
丙：表示催化剂对反应物转化率的影响。催化剂只改变化学反应速率，不能改变反应物的平衡转化率（但能提高未平衡时单位时间内反应物的转化率）。

(3)恒压(温)线——定一议二



分析时作垂直于于横轴的虚线，即为等压线或等温线，然后分析另一条件变化对该反应的影响

【答题模板及剖析】

恒压线(恒温线)	
答题策略	叙特点(反应特点或容器特点)→变条件→定方向→得结论(或结果)
答题模板	该反应的正反应是气体分子数减小(或增大)的反应，当温度一定时，增大压强，平衡正向移动，因此×××(得结论)
经典例题	乙烯气相水合反应的热化学方程式为 $C_2H_4(g)+H_2O(g)\!=\!=\!=C_2H_5OH(g)$ $\Delta H=-45.5\ kJ\cdot mol^{-1}$，下图是乙烯气相水合法制乙醇中乙烯的平衡转化率与温度、压强的关系[其中 $n(H_2O)∶n(C_2H_4)=1∶1$]。图中压强(p_1、p_2、p_3、p_4)的大小顺序为_____，理由是_____。 
标注答案	$p_1<p_2<p_3<p_4$。反应正方向是分子数减少的反应，相同温度下，压强升高乙烯转化率提高

【题组训练】

1．工业上，以煤炭为原料，通入一定比例的空气和水蒸气，经过系列反应可以得到满足不同需求的原料气。在 C 和 O_2 的反应体系中：

反应 1：$C(s)+O_2(g)\xlongequal{}CO_2(g)\quad \Delta H_1=-394\ kJ\cdot mol^{-1}$

反应 2：$2CO(g)+O_2(g)\xlongequal{}2CO_2(g)\quad \Delta H_2=-566\ kJ\cdot mol^{-1}$

反应 3：$2C(s)+O_2(g)\xlongequal{}2CO(g)\quad \Delta H_3$

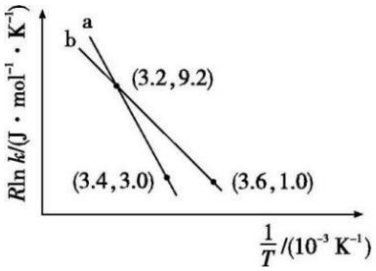
水煤气反应：$C(s)+H_2O(g)\xlongequal{}CO(g)+H_2(g)\ \Delta H=+131\ kJ\cdot mol^{-1}$。工业生产水煤气时，通常交替通入合适量的空气和水蒸气与煤炭反应，其理由是_____。

2．(1)甲醇催化制取乙烯的过程中发生如下反应：

Ⅰ．$3CH_3OH(g)\rightleftharpoons C_3H_6(g)+3H_2O(g)$

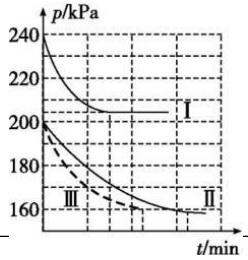
Ⅱ．$2CH_3OH(g)\rightleftharpoons C_2H_4(g)+2H_2O(g)$

反应Ⅰ的阿伦尼乌斯经验公式的实验数据如图中曲线 a 所示，阿伦尼乌斯经验公式为 $R\ln k=-\frac{E_a}{T}+C$（E_a 为活化能，k 为速率常数，R 和 C 为常数）。当改变外界条件时，实验数据如图中的曲线 b 所示，则实验可能改变的外界条件是_____。



(2)已知：$2NO(g)+2CO(g)\rightleftharpoons N_2(g)+2CO_2(g)\quad \Delta H_1=-746.5\ kJ\cdot mol^{-1}$，据此可在一定条件下反应消除 NO 和 CO 的污染；某研究小组在三个容积均为 V L 的恒容密闭容器中，分别充入 1.0 mol NO 和 1.0 mol CO，在三种不同实验条件(见表)下进行上述反应，反应体系的总压强（p）随时间变化情况如图所示：

实验编号	a	b	c
温度/K	500	500	600
催化剂的比表面积/($m^2\cdot g^{-1}$)	82	124	124



曲线Ⅲ对应的实验编号是_____，三条曲线压强降低的原因是_____。

3．磷石膏是湿法生产磷酸排出的工业废渣，主要成分是 $CaSO_4\cdot 2H_2O$。用不同的还原剂可以将 $CaSO_4$ 还原，所得 SO_2 可用于工业生产硫酸。

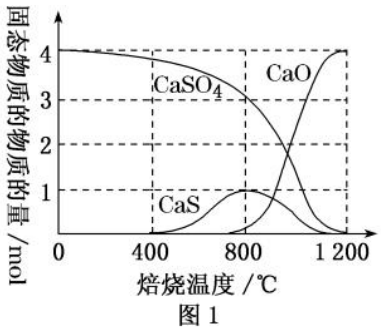


图 1

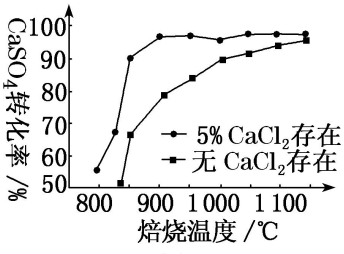


图 2

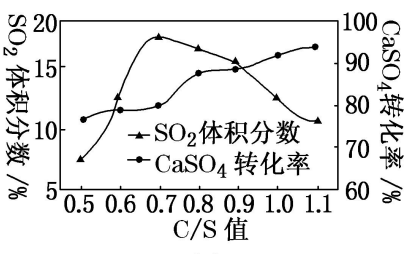


图 3

(1)以 CO 作还原剂，改变反应温度可得到不同的产物。不同温度下反应后所得固体成分的物质的量如图 1 所示。在低于 800℃时主要还原产物为_____；高于 800℃时 CaS 减少的原因是_____

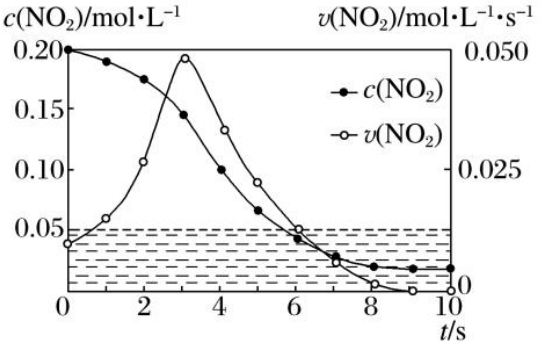
_____(用化学方程式表示)。

(2)以高硫煤为还原剂焙烧 2.5h，不同条件对硫酸钙转化率的影响如图 2 所示。$CaCl_2$ 的作用是_____

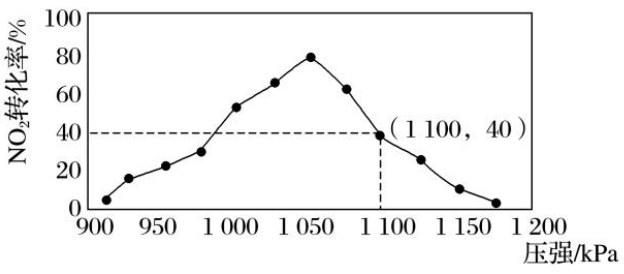
_____；当温度高于 1200℃时，无论有无 $CaCl_2$ 存在，$CaSO_4$ 的转化率趋于相同，其原因是_____。

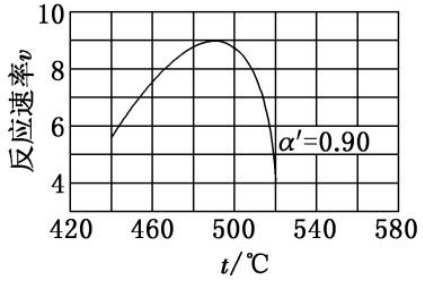
(3)以 C 作还原剂，向密闭容器中加入相同质量的几组不同 C/S 值(C 与 $CaSO_4$ 的物质的量比)的混合物在 1100℃加热，结果如图 3 所示。当 C/S 值为 0.5 时，反应产物为 CaO、SO_2、CO_2；当 C/S 值大于 0.7 时，反应所得气体中 SO_2 的体积分数不升反降，其可能原因是_____。

4．容积均为 1 L 的甲、乙两个容器，其中甲为绝热容器，乙为恒温容器。相同温度下，分别充入 0.2 mol 的 NO_2，发生反应：$2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$　$\Delta H<0$，甲中 NO_2 的相关量随时间变化如下图所示。0～3 s 内，甲容器中 NO_2 的反应速率增大的原因是_____。



5．某实验室模拟反应 $2C(s)+2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2(g)+2CO_2(g)$　$\Delta H=-64.2\ kJ\cdot mol^{-1}$，在密闭容器中加入足量的 C 和一定量的 NO_2 气体，维持温度为 T℃，如下图左为不同压强下该反应经过相同时间 NO_2 的转化率随着压强变化的示意图。请从动力学角度分析，1050 kPa 前，反应中 NO_2 转化率随着压强增大而增大的原因_____；在 1100 kPa 时，NO_2 的体积分数为_____。





6．研究表明，SO_2 催化氧化的反应速率方程为 $v=k(\frac{\alpha}{\alpha'}-1)^{0.8}(1-n\alpha')$。式中：$k$ 为反应速率常数，随温度 t 升高而增大；α为 SO_2 平衡转化率，α'为某时刻 SO_2 转化率，n 为常数。在$\alpha'=0.90$ 时，将一系列温度下的 k、α值代入上述速率方程，得到 v-t 曲线，如上图右所示，曲线上 v 最大值所对应温度称为该α'下反应的最适宜温度 t_m。$t<t_m$ 时，v 逐渐提高而 $t>t_m$ 后，v 逐渐下降的原因是_____

_____。

热点题空 8　平衡图像原因解释之选择反应最佳条件、转化率和产率变化分析

【必备知识】

1、反应条件的选择：

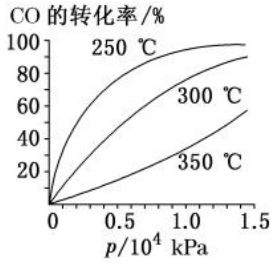
条件	原则
从化学反应速率分析	既不能过快，又不能太慢
从化学平衡移动分析	既要注意外界条件对速率和平衡影响的一致性，又要注意二者影响的矛盾性
从原料的利用率分析	增加易得廉价原料，提高难得高价原料的利用率，从而降低生产成本
从实际生产能力分析	设备承受高温、高压能力等
从催化剂活性分析	注意温度对催化剂活性的限制

2、转化率变化分析：

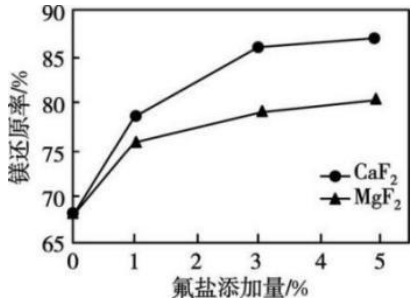
答题要领	转化率问题首先看是否是平衡转化率： ①若为非平衡状态的转化率，则侧重分析温度、压强、浓度对速率快慢、催化剂对速率快慢及选择性(主副反应)的影响； ②若为平衡转化率，则侧重分析温度、压强、浓度对化学平衡的影响，有时也涉及温度对催化活性的影响。

【题组训练】

1．CO 可用于合成甲醇，反应方程式为 $CO(g)+2H_2(g)\rightleftharpoons CH_3OH(g)$。CO 在不同温度下的平衡转化率与压强的关系如图所示。该反应ΔH_____0(填“＞”或“＜”)。实际生产条件控制在 250℃、1.3×10^4 kPa 左右，选择此压强的理由是_____。



2. 工业上用AlSiFe合金在一定条件下还原白云石[主要成分为$CaMg(CO_3)_2$]可制取金属镁。实际生产中镁的还原率在不同条件下的变化曲线如图1、2所示。



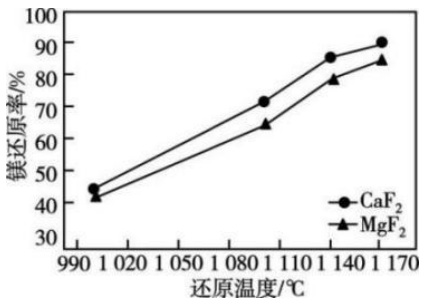


图1 不同氟盐添加量与还原率的关系　　图2 不同还原温度下氟盐对还原过程的影响

(1)实际生产中通过添加氟盐来提高镁的还原率，选择最佳的氟盐及添加量是_____。

(2)温度一般控制在1140 ℃，原因是_____。

3．已知：微生物脱 H_2S 的原理：$H_2S+Fe_2(SO_4)_3=\!=\!=S\downarrow+2FeSO_4+H_2SO_4$；$4FeSO_4+O_2+2H_2SO_4 \xlongequal{\text{硫杆菌}} 2Fe_2(SO_4)_3+2H_2O$。由图 1 和图 2 判断使用硫杆菌脱 H_2S 的最佳条件为_____，若反应温度过高，反应速率下降，其原因是_____。

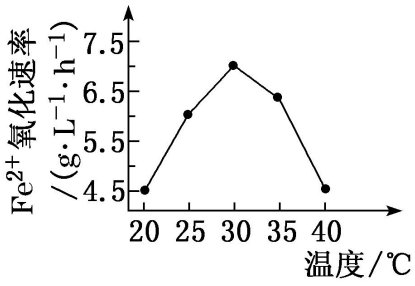


图 1

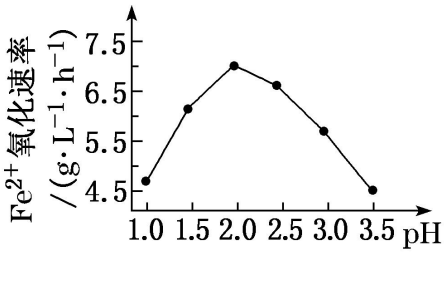
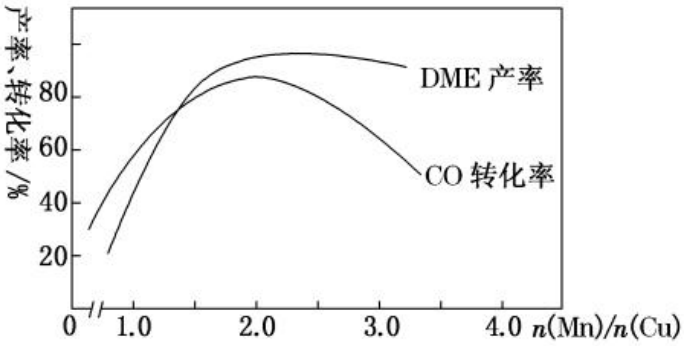


图 2

4．已知 $3CO(g)+3H_2(g) \rightleftharpoons CH_3OCH_3(g)+CO_2(g)$　$\Delta H<0$，研究发现，使用 Cu-Mn 合金作催化剂，可有效加快反应速率。实验测得反应体系中二甲醚（DME）产率和 CO 转化率与催化剂中 $n(Mn)/n(Cu)$的关系如图所示。则催化剂中 $n(Mn)/n(Cu)$约为_____时最有利于二甲醚的合成。在实际生产过程中，需要加入催化剂，而且反应器必须要进行热交换，以保证反应器的温度控制在 270～340 ℃，其原因是_____。



5．NO_x（主要指 NO 和 NO_2）是大气主要污染物之一。有效去除大气中的 NO_x 是环境保护的重要课题。在有氧条件下，新型催化剂 M 能催化 NH_3 与 NO_x 反应生成 N_2。将一定比例的 O_2、NH_3 和 NO_x 的混合气体，匀速通入装有催化剂 M 的反应器中反应（装置见图 1）

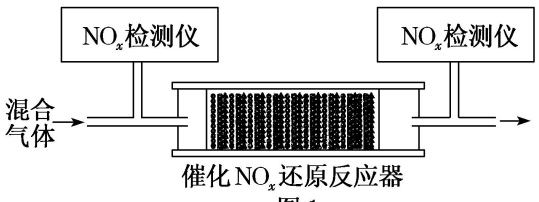


图 1

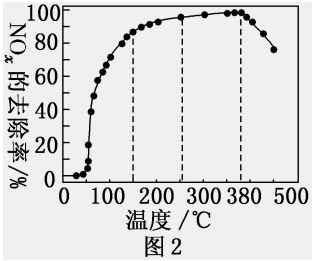
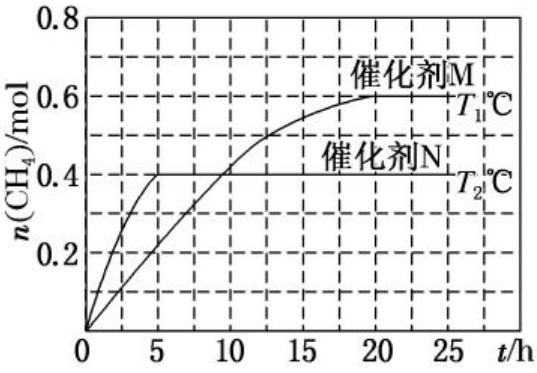


图 2

反应相同时间 NO_x 的去除率随反应温度的变化曲线如图 2 所示，在 50～250℃范围内随着温度的升高，NO_x 的去除率先迅速上升后上升缓慢的主要原因是_____；

当反应温度高于 380 ℃时，NO_x 的去除率迅速下降的原因可能是_____。

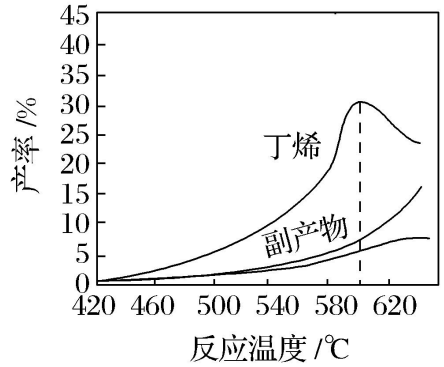
6．$CO_2(g)+2H_2O(g)\rightleftharpoons CH_4(g)+2O_2(g)$　$\Delta H=+802\ kJ\cdot mol^{-1}$。将一定量的 $CO_2(g)$和 $H_2O(g)$充入 10 L 密闭容器中，分别在催化剂 M、N 的作用下发生上述反应，$CH_4(g)$的产量(n)与光照时间(t)和温度(T)变化的关系如图所示。

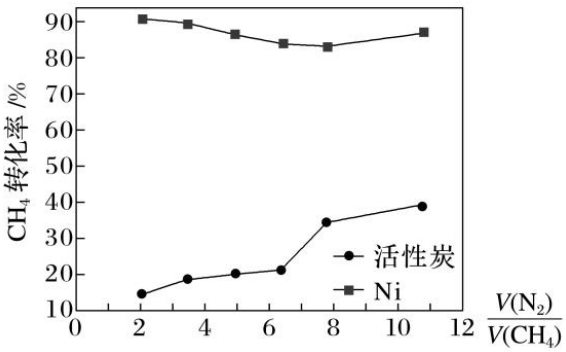


根据图判断，T_1_____(填“＞”“＜”或“＝”)T_2，理由为_____；催化剂的催化效果：M_____(填“强于”或“弱于”)N。

7. 大连化物所的一项最新成果实现了甲烷高效制乙烯，甲烷催化脱氢，在气相中经自由基偶联反应生成乙烯：$2CH_4(g)\rightleftharpoons C_2H_4(g)+2H_2(g)$　$\Delta H=+202.0kJ\cdot mol^{-1}$，若向该恒压容器通入高温水蒸气（不参加反应，高于 400℃），C_2H_4 的产率将_____(填“增大”“减小”“不变”“无法确定”)，理由是_____。

8．丁烯可由丁烷催化脱氢制备：$C_4H_{10}(g)\rightleftharpoons C_4H_8(g)+H_2(g)$ $\Delta H=+123\ kJ\cdot mol^{-1}$。上图为反应产率和反应温度的关系曲线，副产物主要是高温裂解生成的短碳链烃类化合物。丁烯产率在 590℃之前随温度升高而增大的原因可能是_____；590 ℃之后，丁烯产率快速降低的主要原因可能是_____。





9．甲烷裂解制氢的反应为 $CH_4(g)\rightleftharpoons C(s)+2H_2(g)$　$\Delta H=+75\ kJ\cdot mol^{-1}$，Ni 和活性炭均可作该反应催化剂。在相同气体流量条件下，不同催化剂和进料比[$\frac{V(N_2)}{V(CH_4)}$]对甲烷转化率的影响如图所示。使用活性炭催化剂，且其他条件相同时，随着进料比的增大，甲烷的转化率逐渐增大的原因是_____。

热点题空 9　电解质溶液中的计算

【必备知识】 “三大”平衡的比较与相关计算

平衡类型		电离平衡： $CH_3COOH \rightleftharpoons CH_3COO^- + H^+$		水解平衡： $CH_3COO^- + H_2O \rightleftharpoons CH_3COOH + OH^-$		沉淀溶解平衡： $AgCl(s) \rightleftharpoons Ag^+(aq) + Cl^-(aq)$	
研究对象		弱电解质溶液		能水解的盐溶液		难溶电解质	
影响因素	升温	促进电离	K_a 增大	促进水解	K_h 增大	若难溶物的溶解度与温度成正比，促进溶解；反之，则抑制溶解	若难溶物的溶解度与温度成正比，K_{sp} 增大；反之，K_{sp} 减小
	加水	促进电离	K_a 不变	促进水解	K_h 不变	促进溶解	K_{sp} 不变
	加入相应离子(或物质)	加入 CH_3COONa 或 HCl，抑制电离	K_a 不变	加入 CH_3COOH 或 NaOH，抑制水解	K_h 不变	加入 $AgNO_3$ 或 NaCl，抑制溶解	K_{sp} 不变
	加入反应离子(或物质)	加入 OH^-，促进电离	K_a 不变	加入 H^+，促进水解	K_h 不变	加入氨水，促进溶解	K_{sp} 不变

【典例分析】

例 1.已知 H_2S 饱和水溶液的浓度为 0.01 mol/L，若维持 H_2S 饱和水溶液的浓度 0.01 mol/L 不变，为了使 Zn^{2+}(生成 ZnS)沉淀完全(沉淀完全是指离子浓度小于或等于 1×10^{-5} mol/L)，需控制溶液的 pH 不小于_____。

已知：lg 3≈0.48；$K_{sp}(ZnS)=3.0\times10^{-25}$，$K_{a1}(H_2S)=1.0\times10^{-7}$，$K_{a2}(H_2S)=1.0\times10^{-13}$。

例 2. 已知常温下，$NH_3\cdot H_2O$ 的 $K_b=1.8\times10^{-5}$，H_2SO_3 的 $K_{a1}=1.3\times10^{-2}$，$K_{a2}=6.2\times10^{-8}$，若氨水的浓度为 2.0 mol·L^{-1}，溶液中的 $c(OH^-)$=_____ mol·L^{-1}。将 SO_2 通入该氨水中，当 $c(OH^-)$降至 1.0×10^{-7} mol·L^{-1} 时，溶液中的 $\frac{c(SO_3^{2-})}{c(HSO_3^-)}$=_____。

例 3．取 5 mL 0.002 mol·L^{-1} $BaCl_2$ 与等体积的 0.02 mol·L^{-1} Na_2SO_4 的混合，是否有沉淀产生？若有，计算 Ba^{2+}是否沉淀完全。(该温度下 $BaSO_4$ 的 $K_{sp}=1.1\times10^{-10}$)

例 4．室温下，在 1.0 mol·L^{-1} Co^{2+}溶液中，含有少量 Fe^{3+}杂质。问应如何控制 pH 值，才能达到除去 Fe^{3+}杂质的目的?

已知：$K_{sp}[Co(OH)_2]=1.0\times10^{-15}$，$K_{sp}[Fe(OH)_3]=8.0\times10^{-39}$　(已知：lg2＝0.3)

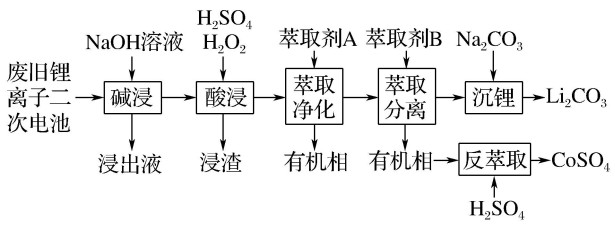
例 5. 室温下，$Ca(OH)_2$ 的溶解度为 0.74 g，其饱和溶液密度设为 1 g/mL，则 OH^-的物质的量浓度为_____，溶度积 $K_{sp}[Ca(OH)_2]$为_____。

例 6．在化学分析中常采用 K_2CrO_4 为指示剂，以 $AgNO_3$ 标准溶液滴定溶液中的 Cl^-，利用 Ag^+与 CrO_4^{2-}生成砖红色沉淀，指示到达滴定终点。当溶液中 Cl^-恰好完全沉淀(浓度等于 1.0×10^{-5} mol·L^{-1})时，溶液中的 $c(Ag^+)$为_____mol·L^{-1}，此时溶液中 $c(CrO_4^{2-})$等于_____mol·L^{-1}(已知 Ag_2CrO_4、AgCl 的 K_{sp} 分别为 2.0×10^{-12} 和 2.0×10^{-10})

例 7．某工厂以重晶石(主要含 $BaSO_4$)为原料，生产“电子陶瓷工业支柱”——钛酸钡，用 Na_2CO_3 溶液浸泡重晶石(假设杂质不与 Na_2CO_3 反应)，能将 $BaSO_4$ 转化为 $BaCO_3$，此反应的平衡常数 K＝_____(填写计算结果)；若不考虑 CO_3^{2-}的水解，要使 2.33 g $BaSO_4$ 恰好完全转化为 $BaCO_3$，则至少需要浓度为 1.0 mol·L^{-1} Na_2CO_3 溶液_____mL。

[已知：$K_{sp}(BaSO_4)=1.0\times10^{-10}$，$K_{sp}(BaCO_3)=5.0\times10^{-9}$]

例 8．从废旧锂离子二次电池(主要成分为 $LiCoO_2$，还含有少量石墨和镀镍金属钢壳、铝箔以及钙等杂质)中回收钴和锂的工艺流程如下：

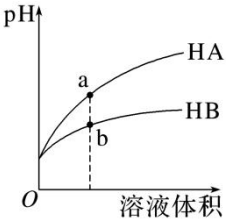
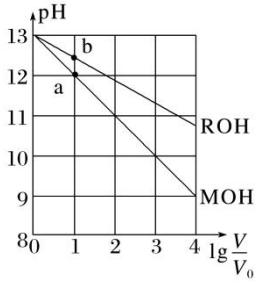


若“沉锂”中 $c(Li^+)$＝1.0 mol·L^{-1}，加入等体积等浓度 Na_2CO_3 溶液，此时实验所得沉锂率为_____。(已知 Li_2CO_3 的 K_{sp} 为 9.0×10^{-4})

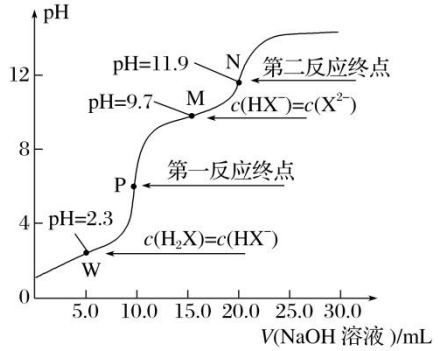
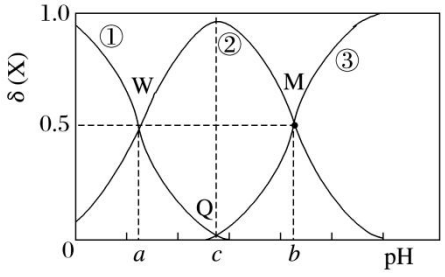
热点题空 10　电解质溶液中的图像

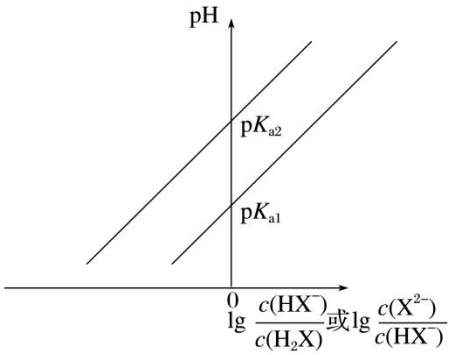
【高考必备知识】

1、弱酸、弱碱溶液的稀释

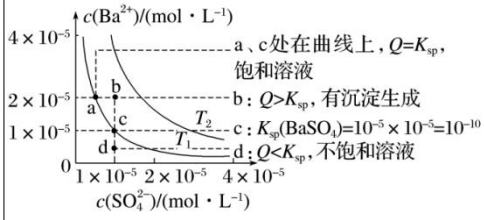
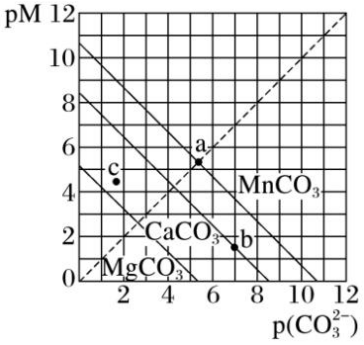
图像	理解与分析
	$HX \rightleftharpoons H^+ + X^-$ $K_a=\frac{c(H^+)\cdot c(X^-)}{c(HX)}\approx\frac{c^2(H^+)}{c_0}\approx\frac{c^2(X^-)}{c_0}$ $c(H^+)\approx c(X^-)\approx\sqrt{K_a\cdot c_0}$，$\alpha\approx\sqrt{\frac{K_a}{c_0}}\times100\%$ 酸性：HA＞HB，c(HA)＜c(HB) 用 a、b 两点处所示溶液中和等物质的量的 NaOH，消耗 HA 与 HB 的体积：V(HA)≥V(HB)
	lg $\frac{V}{V_0}$=0 代表没稀释；lg $\frac{V}{V_0}$=1 代表稀释 10 倍 ①MOH 为强碱、ROH 为弱碱 ②lg $\frac{V}{V_0}$=0 时，c(ROH)>c(MOH) ③水的电离程度：a>b

2、二元弱酸(弱碱)：以常温下，用某浓度 NaOH 溶液中和 10 mL 同浓度弱酸 H_2X 为例

图像	理解与分析
滴定曲线(两个突跃点)： 	平衡常数表达式： $K_{a1}(H_2X)=\frac{c(H^+)\cdot c(HX^-)}{c(H_2X)}$，$K_{a2}(HX)=\frac{c(H^+)\cdot c(X^{2-})}{c(HX^-)}$ $K_{a1}\cdot K_{a2}=\frac{c(H^+)\cdot c(HX^-)}{c(H_2X)}\cdot\frac{c(H^+)\cdot c(X^{2-})}{c(HX^-)}=\frac{c^2(H^+)\cdot c(X^{2-})}{c(H_2X)}$ 由 W 点计算 $K_{a1}=10^{-2.3}$ 由 M 点计算 $K_{a2}=10^{-9.7}$
分布系数曲线： 	I.曲线①代表 H_2X，曲线②代表 HX^-，曲线③代表 X^{2-} II.根据 W 点，得 $K_{a1}=\underline{10^{-a}}$，p$K_{a1}=a$ 根据 M 点，得 $K_{a2}=\underline{10^{-b}}$，p$K_{a2}=b$ Q 点：$c=\frac{pK_{a1}+pK_{a2}}{2}=\frac{a+b}{2}$，对应的 $c(HX^-)$最大 III.当 pH<a 时，$c(H_2X)>c(HX^-)>c(X^{2-})$ a<pH<c 时，$c(HX^-)>c(H_2X)>c(X^{2-})$ c<pH<b 时，$c(HX^-)>c(X^{2-})>c(H_2X)$ pH>b 时，$c(X^{2-})>c(HX^-)>c(H_2X)$

对数曲线：  	pH=lg $\frac{c(HX^-)}{c(H_2X)}$-lg[$K_{a1}(H_2X)$] pH=lg $\frac{c(X^{2-})}{c(HX^-)}$- lg[$K_{a2}(H_2X)$]

3、沉淀溶解平衡曲线

图像	理解与分析
 	(1)a→c，曲线上变化，增大 $c(SO_4^{2-})$ (2)b→c，加入 1×10^{-5} mol·L^{-1} Na_2SO_4 溶液(加水不行，忽略溶液的体积变化) (3)d→c，加入 $BaCl_2$ 固体(忽略溶液的体积变化) (4)c→a，曲线上变化，增大 $c(Ba^{2+})$ (5)曲线上方的点表示有沉淀生成；曲线下方的点表示不饱和溶液 (6)不同曲线(T_1、T_2)之间变化仅能通过改变温度实现
 已知：pM=-lg c(M)(M：Mg^{2+}、Ca^{2+}、Mn^{2+})，$p(CO_3^{2-})$=-lg $c(CO_3^{2-})$	(1)横坐标数值越大，$c(CO_3^{2-})$越小 (2)纵坐标数值越大，c(M)越小 (3)直线上方的点为不饱和溶液 (4)直线上的点为饱和溶液 (5)直线下方的点表示有沉淀生成

4、多类型曲线于一体的图像分析思路

①注意坐标系图像的指向，明确曲线的类型以及读取坐标的方向。

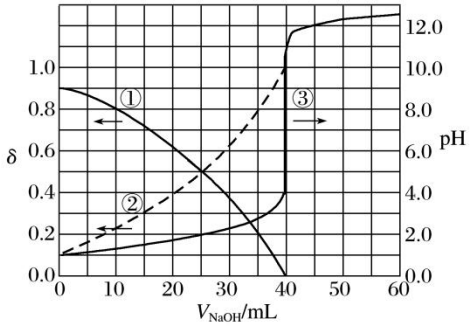
②抓住关键点。重视起点、终点和交点对应的坐标数值及含义。

③理解最高点和最低点对应的 pH 和各组分存在的 pH 范围。

④联系电离平衡、水解平衡的规律及电荷守恒、元素守恒的关系分析判断。

【典例分析】

例 1.以酚酞为指示剂，用 0.100 0 mol·L^{-1} 的 NaOH 溶液滴定 20.00 mL 未知浓度的二元酸 H_2A 溶液。溶液中，pH、分布系数δ随滴加 NaOH 溶液体积 V_{NaOH} 的变化关系如下图所示。[比如 A^{2-}的分布系数：$\delta(A^{2-})=\frac{c(A^{2-})}{c(H_2A)+c(HA^-)+c(A^{2-})}$]



下列叙述正确的是(　　)

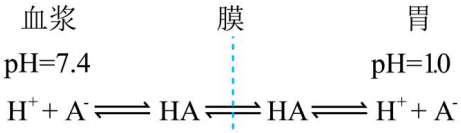
A. 曲线①代表$\delta(H_2A)$，曲线②代表$\delta(HA^-)$

B. H_2A 溶液的浓度为 0.200 0 mol·L^{-1}

C. HA^-的电离常数 $K_a=1.0\times10^{-2}$

D. 滴定终点时，溶液中 $c(Na^+)<2c(A^{2-})+c(HA^-)$

例 2．常温下，一种解释乙酰水杨酸(用 HA 表示，$K_a=1.0\times10^{-3}$)药物在人体吸收模式如下：

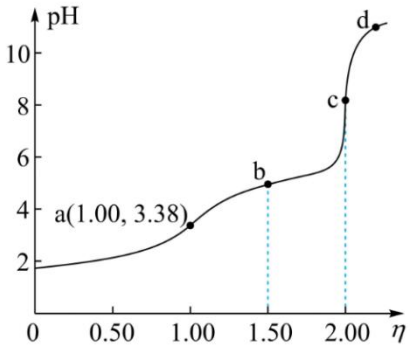


假设离子不会穿过组织薄膜，而未电离的 HA 则可自由穿过该膜且达到平衡。下列说法错误的是(　　)

A．血浆中 HA 电离程度比胃中大　　B．在胃中，$\frac{c(A^-)}{c(HA)}=1\times10^{-2.0}$

C．在血浆中，$\frac{c(HA)+c(A^-)}{c(HA)}<1\times10^{4.4}$　　D．总药量之比 $\frac{[c(HA)+c(A^-)]_{血浆}}{[c(HA)+c(A^-)]_{胃}}\approx1\times10^{4.4}$

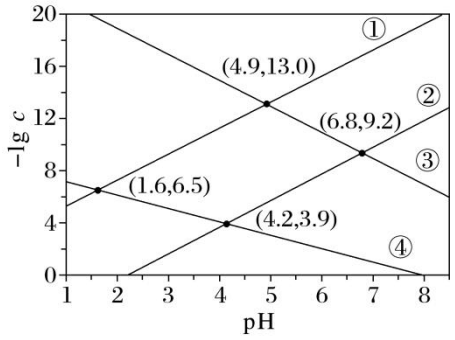
例 3．常温下，用浓度为 0.0200mol·L^{-1} 的 NaOH 标准溶液滴定浓度均为 0.0200mol·L^{-1} 的 HCl 和 CH_3COOH 的混合溶液，滴定过程中溶液的 pH 随 η ($\eta=\frac{V(标准溶液)}{V(待测溶液)}$)的变化曲线如图所示。下列说法错误的是(　　)



A．$K_a(CH_3COOH)$约为 $10^{-4.76}$　　B．点 a：$c(Na^+)=c(Cl^-)=c(CH_3COOH)+c(CH_3COO^-)$

C．点 b：$c(CH_3COOH)<c(CH_3COO^-)$　　D．水的电离程度：a＜b＜c＜d

例 4. 某废水处理过程中始终保持 H_2S 饱和，即 $c(H_2S)=0.1\ mol\cdot L^{-1}$，通过调节 pH 使 Ni^{2+}和 Cd^{2+}形成硫化物而分离，体系中 pH 与-lg c 关系如图所示，c 为 HS^-、S^{2-}、Ni^{2+}和 Cd^{2+}的浓度，单位为 $mol\cdot L^{-1}$。已知 $K_{sp}(NiS)>K_{sp}(CdS)$，下列说法正确的是(　　)



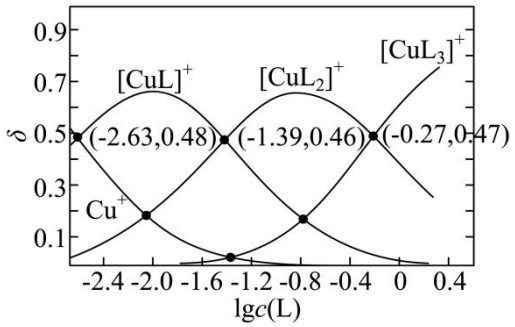
A. $K_{sp}(CdS)=10^{-18.4}$

B. ③为 pH 与-lg $c(HS^-)$的关系曲线

C. $K_{a1}(H_2S)=10^{-8.1}$

D. $K_{a2}(H_2S)=10^{-14.7}$

例 5．(2025·湖北)铜(I)、乙腈(简写为 L)的某水溶液体系中含铜物种的分布曲线如图。纵坐标(δ)为含铜物种占总铜的物质的量分数，总铜浓度为 $1.0\times10^{-3}\ mol\cdot L^{-1}$。下列描述正确的是(　　)



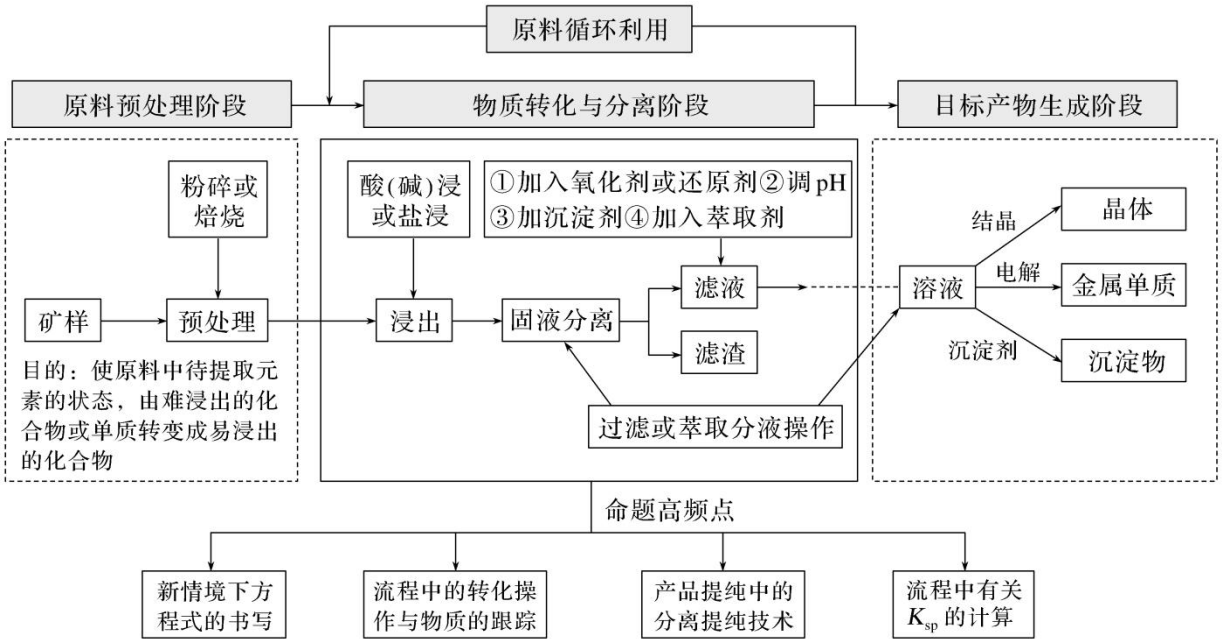
A．$Cu^+ + 3L \rightleftharpoons [CuL_3]^+$的 lgK=0.27

B．当 $c(Cu^+)=c\{[CuL]^+\}$时，$c\{[CuL_2]^+\}=2.0\times10^{-4}\ mol\cdot L^{-1}$

C．n 从 0 增加到 2，$[CuL_n]^+$结合 L 的能力随之减小

D．若 $c\{[CuL]^+\}=c\{[CuL_3]^+\}$，则 $2c\{[CuL_2]^+\}<c\{[CuL]^+\}+3c\{[CuL_3]^+\}$

专题三 化工流程



热点题空 1　原料预处理的常用方法

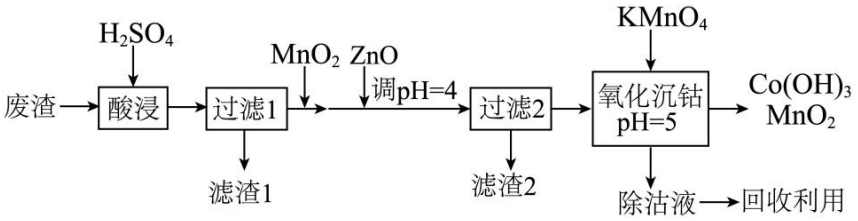
【高考必备知识】

预处理操作	作用或目的分析	
物理粉碎	目的：增大反应物接触面积，加快反应速率，提高原料转化率（利用率、浸取率，提高产品的产率）等	
	增大接触面积的方法：固体——粉碎、研磨；液体——雾化、喷洒；气体——用多孔分散器等	
浸取分离	向固体中加入适当溶剂或溶液，使其中可溶性的物质溶解，包括水浸取、酸溶、碱溶、醇溶等	
	水浸	与水接触反应或溶解，使原料变成离子进入溶液中
	酸浸	在酸性溶液[如：用(浓)硫酸、盐酸等]中使可溶性金属离子进入溶液，不溶物通过过滤除去的过程；酸还能溶解金属氧化物(膜)、抑制某些金属离子的水解等
	碱浸	去油污，在碱性溶液中使两性化合物(Al_2O_3、ZnO 等)溶解，溶解铝、二氧化硅等，不溶物通过过滤除去的过程
	醇浸	提取有机物，常采用有机溶剂(乙醚，二氯甲烷等)浸取的方法提取有机物
	浸取率	固体溶解后，离子在溶液中的含量的多少(工业上往往为了追求更多转化)
		提高浸出率的措施：①将矿石研成粉末，提高接触面积；②搅拌，使反应更加充分③适当增大反应物(酸、碱)的浓度；④适当升温(加热)

高温处理	使物质高温分解或者氧化去除可燃性杂质改变物质结构，使原料初步转化	
	①除去硫、碳单质；　　②有机物转化、除去有机物； ③高温下原料与空气中氧气反应；④除去热不稳定的杂质(如碳酸盐沉淀)等	
	煅烧：	物质受热分解或发生晶形转变，温度低于熔点高于 1200℃。如：锻炼石灰石、生产玻璃、打铁等，设备如回转窑等
	焙烧：	物质与空气、氯气或添加剂发生化学反应，以固—气反应为主，温度低于熔点，在 500～1500℃之间，如：沸腾炉、焙烧炉等。可以通过增加氧气的量、固体充分粉碎、逆流焙烧、适当升温等来提高焙烧效率。
	灼烧：	物质在高温条件下发生脱水、分解、挥发等化学变化的过程。 1000℃左右，如煤气灯、电炉等如：灼烧海带、颜色反应、灼烧失重、灼烧残渣等

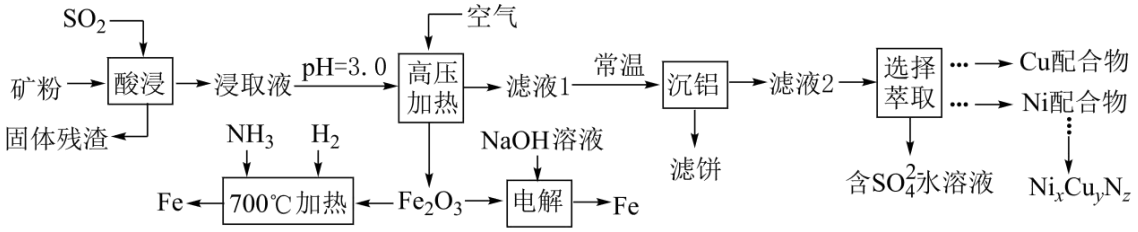
【题组训练】

1．(2024·新课标卷)钴及其化合物在制造合金、磁性材料、催化剂及陶瓷釉等方面有着广泛应用。一种从湿法炼锌产生的废渣(主要含 Co、Zn、Pb、Fe 的单质或氧化物)中富集回收得到含锰高钴成品的工艺如下：



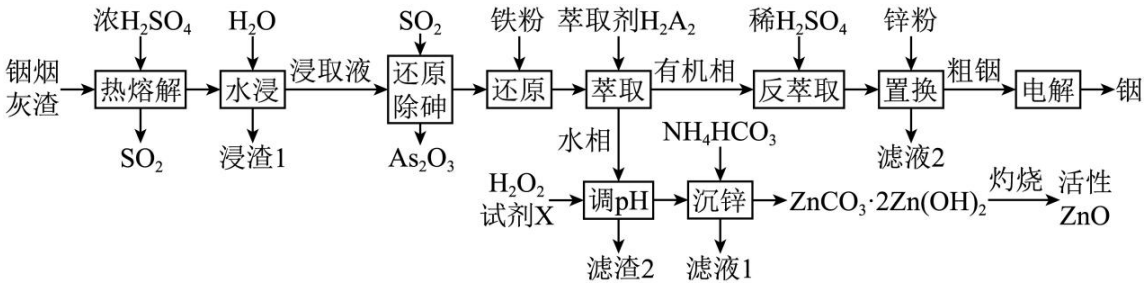
“酸浸”前废渣需粉碎处理，目的是_____；“滤渣 1”中金属元素主要为_____。

2．(2025 广东卷)我国是金属材料生产大国，绿色生产是必由之路。一种从多金属精矿中提取 Fe、Cu、Ni 等并探究新型绿色冶铁方法的工艺如下。



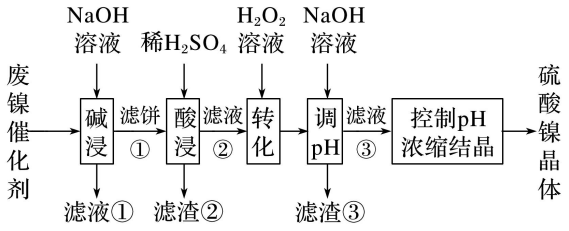
“酸浸”中，提高浸取速率的措施有_____、_____ 。

3.（2025 广东预测）铟烟灰渣[含 In_2S_3、In_2O_3、ZnO、PbO、$FeAsO_4$、SiO_2等]为主要原料制备 In 和活性 ZnO 的工艺流程如下：



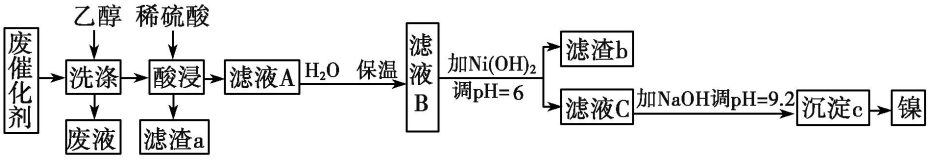
“反萃取”中，可通过_____提高萃取率。

4．某油脂厂废弃的油脂加氢镍催化剂主要含金属 Ni、Al、Fe 及其氧化物，还有少量其他不溶性物质。采用如下工艺流程回收其中的镍制备硫酸镍晶体($NiSO_4·7H_2O$)：



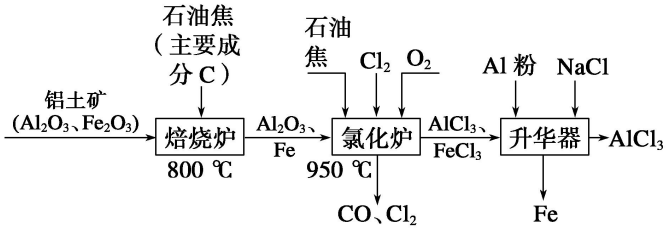
“碱浸”中 NaOH 的两个作用分别是_____。

5．某工厂从废含镍有机催化剂中回收镍的工艺流程如图所示(已知废催化剂中含有 Ni 70.0%及一定量的 Al、Fe、SiO_2 和有机物，镍及其化合物的化学性质与铁的类似，但 Ni^{2+}的性质较稳定)。回答下列问题：



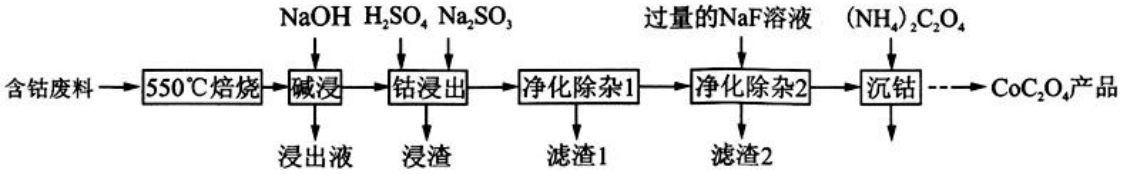
用乙醇洗涤废催化剂的目的是_____。

6．无水 $AlCl_3$ 可用作有机合成的催化剂、食品膨松剂等。工业制备无水 $AlCl_3$ 的流程如下：



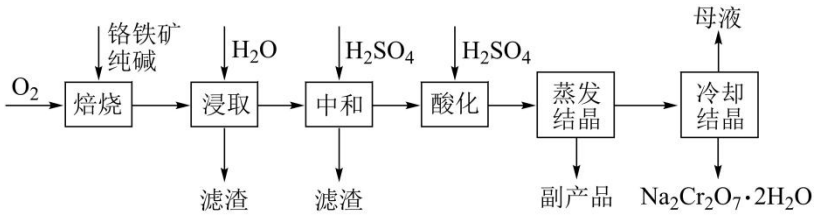
氯化炉中通入 O_2 的目的是_____。

7．草酸钴是制作氧化钴和金属钴的原料。一种利用含钴废料（主要成分为 Co_2O_3，含少量 Fe_2O_3、Al_2O_3、CaO、MgO、碳及有机物等）制取 CoC_2O_4 的工艺流程如下：



“550℃焙烧”的目的是_____。

8．工业上以铬铁矿($FeCr_2O_4$，含 Al、Si 氧化物等杂质)为主要原料制备红矾钠($Na_2Cr_2O_7•2H_2O$)的工艺流程如图。回答下列问题：



焙烧的目的是将 $FeCr_2O_4$ 转化为 Na_2CrO_4 并将 Al、Si 氧化物转化为可溶性钠盐，焙烧时气体与矿料逆流而行，目的是_____。

热点题空 2　转化过程中 pH 条件的控制

【高考必备知识】

1．控制反应的发生，增强物质的氧化性(增强 MnO_4^-、NO_3^-的氧化性)或还原性，调节离子的水解程度

2．调 pH 除杂：控制溶液的 pH 值使其中某些金属离子形成氢氧化物沉淀而被除去

(1)原理：加入的物质能与溶液中的 H^+反应，降低了 H^+的浓度，使溶液 pH 值增大

(2)pH 控制的范围：杂质离子完全沉淀时 pH 值~主要离子开始沉淀时 pH (根据题意注意是否取端值）

(3)需要的物质：含主要阳离子(不引入新杂质即可)的难溶性氧化物或氢氧化物或碳酸盐，即能与 H^+反应，使 pH 增大的物质，如 MgO、$Mg(OH)_2$、$MgCO_3$ 等类型的物质

(4)实例：除去 $CuSO_4$ 溶液中少量 Fe^{3+}，可向溶液中加入 CuO、$Cu(OH)_2$、$Cu_2(OH)_2CO_3$、$CuCO_3$，调节 pH 至 3~4，使 Fe^{3+}转化为 $Fe(OH)_3$ 沉淀除去。Fe^{3+}溶液中存在水解平衡：$Fe^{3+}+3H_2O\rightleftharpoons Fe(OH)_3+3H^+$，加入 CuO 后，溶液中 H^+浓度降低，平衡正向移动，$Fe(OH)_3$ 越聚越多，最终形成沉淀；除去 Cu^{2+}溶液中混有的 Fe^{2+}：一般先加 H_2O_2 将 Fe^{2+}氧化为 Fe^{3+}，再加物质来调节溶液的 pH 值。

①加入 CuO 的作用：调节溶液的 pH，使 Fe^{3+}转化为 $Fe(OH)_3$

②加热的目的：促进Fe^{3+}水解

3．抑制某些离子的水解，防止产品混入杂质

像盐酸盐、硝酸盐溶液，通过结晶方法制备晶体或加热脱水结晶水合物制备相对应的无水盐时，由于水解生成的盐酸或硝酸挥发，促使了金属离子水解(水解反应为吸热反应)导致产品不纯

如：由 $MgCl_2\cdot6H_2O$ 制无水 $MgCl_2$ 要在 HCl 气流中加热，否则：$MgCl_2\cdot6H_2O\overset{\triangle}{=}Mg(OH)_2+2HCl\uparrow+4H_2O$

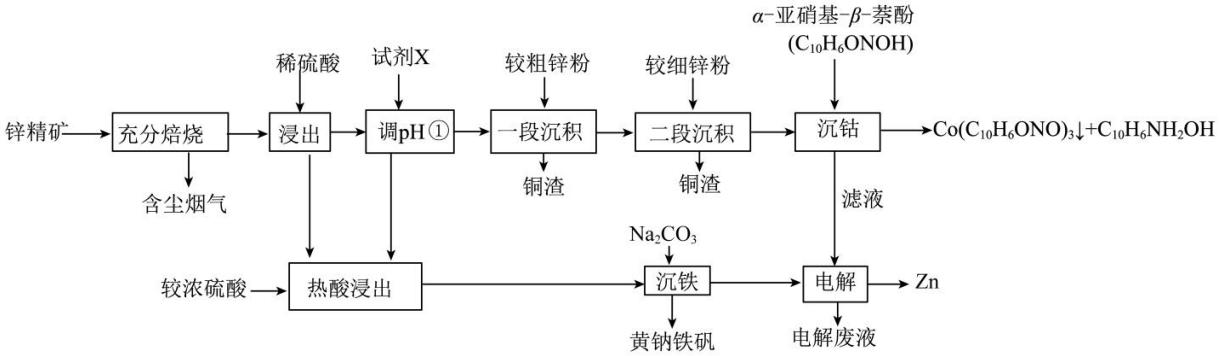
4．控制 pH 的目的的答题思路

(1)pH 调小：抑制某离子水解；防止某离子沉淀

(2)pH 调大：确保某离子完全沉淀；防止某物质溶解等

【题组训练】

1．**（2025 广东模拟）**一种以锌精矿(主要成分是 ZnS，还含有铁、钴、铜等元素的氧化物)为原料制备纯锌并将其它金属元素回收利用的工艺流程如下：



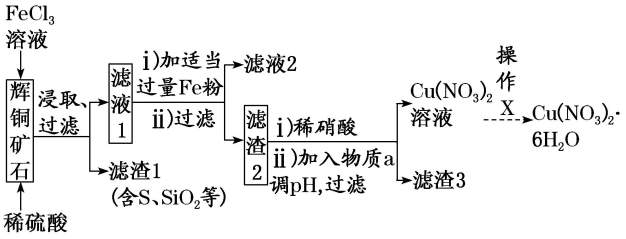
已知：①锌精矿在高温焙烧过程中部分转化为铁酸锌($ZnFe_2O_4$)，铁酸锌不溶于稀硫酸

②黄钠铁矾$\left[Na_2Fe_6(SO_4)_4(OH)_{12}\right]$是一种浅黄色晶体，过滤及沉淀性能较好，但溶液酸性较强时不易生成

“沉铁”步骤中，pH 不宜过大或过小，原因是_____，

“沉铁”时生成黄钠铁矾的离子方程式为_____。

2．硝酸铜晶体[$Cu(NO_3)_2·6H_2O$]，是一种重要的化工原料，常用于农药、镀铜、搪瓷等工业。以辉铜矿(主要成分为 Cu_2S，含少量 Fe_2O_3、SiO_2 等杂质)为原料制备硝酸铜晶体的某工艺如图所示。回答下列问题：



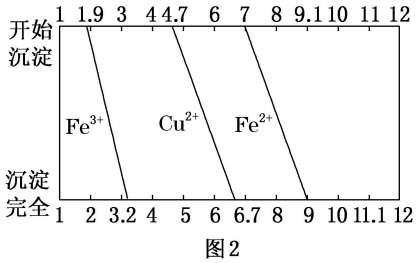
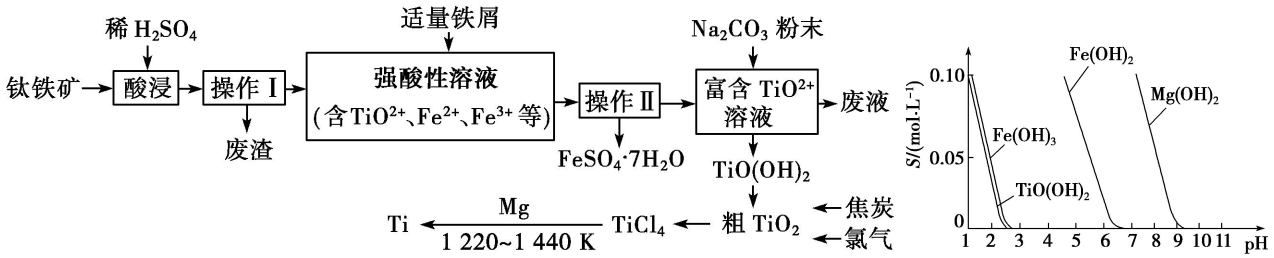


图2

调节溶液 pH 时选用的物质 a 可以是_____，目的是_____；

几种金属离子沉淀的 pH 范围如图 2 所示，“调 pH”时应控制的范围是_____。

3．钛合金是航天航空工业的重要材料。由钛铁矿(主要成分为钛酸亚铁，化学式为 $FeTiO_3$)制备 Ti 等产品的一种工艺流程示意图如下：



已知：①TiO^{2+}易水解，只能存在于强酸性溶液中

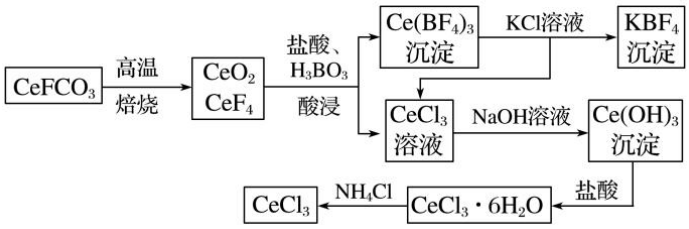
②常温下，难溶电解质溶解度与 pH 关系如上图

③25 ℃时 $TiO(OH)_2$ 溶度积 $K_{sp}=1\times10^{-29}$

(1)向“富含 TiO^{2+}溶液”中加入 Na_2CO_3 粉末的作用是_____，TiO^{2+}水解的离子方程式为_____，当溶液 pH＝_____时，$TiO(OH)_2$ 已沉淀完全。

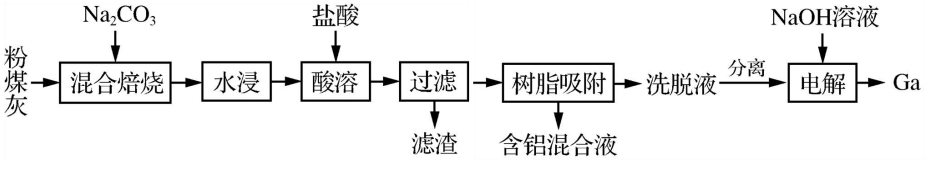
(2)加入铁屑将 Fe^{3+}转化为 Fe^{2+}的原因是_____。

4．铈元素在自然界中主要以氟碳铈矿的形式存在，其主要化学成分为 $CeFCO_3$。工业上利用氟碳铈矿提取 $CeCl_3$ 的一种工艺流程如下：



加热 $CeCl_3·6H_2O$ 和 NH_4Cl 的固体混合物可得固体无水 $CeCl_3$，其中 NH_4Cl 的作用是_____。

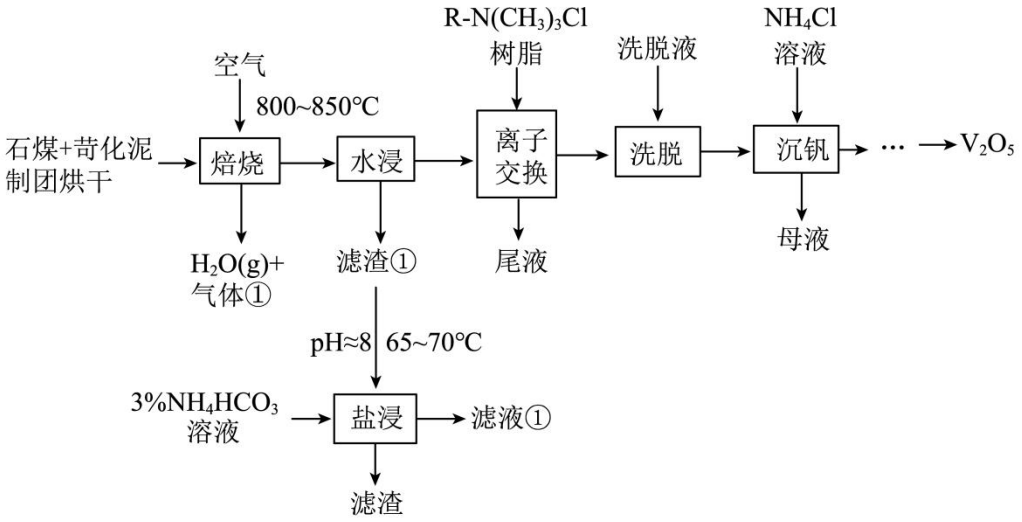
5．我国某地粉煤灰中主要含有 Al_2O_3，除此之外还含有 Ga_2O_3 及少量 Fe_2O_3、CaO、MgO 和 SiO_2 等物质。已知从粉煤灰中回收铝并提取镓的工艺流程如下所示：



电解过程中，Ga^{3+}与 NaOH 溶液反应生成$[Ga(OH)_4]^-$，$[Ga(OH)_4]^-$在阴极放电，则电解方程式：_____；

电解过程中需要保持溶液为 pH＝11 以上的原因是_____。

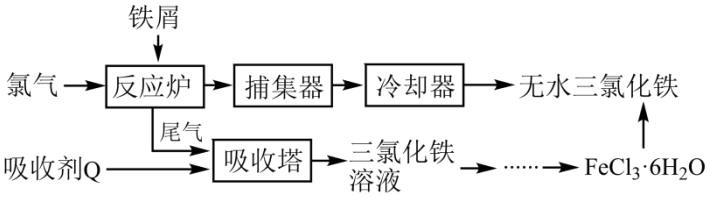
6．（2024·河北卷节选）V_2O_5是制造钒铁合金、金属钒的原料，也是重要的催化剂。以苛化泥为焙烧添加剂从石煤中提取V_2O_5的工艺，具有钒回收率高、副产物可回收和不产生气体污染物等优点。



下列不利于沉钒过程的两种操作为_____(填序号)。

a．延长沉钒时间　b．将溶液调至碱性　c．搅拌　d．降低 NH_4Cl 溶液的浓度

7．氯化铁是常见的水处理剂，工业上制备无水 $FeCl_3$ 的一种工艺如下：



六水合氯化铁在水中的溶解度如下：

温度/℃	0	10	20	30	50	80	100
溶解度(g/100gH_2O)	74.4	81.9	91.8	106.8	315.1	525.8	535.7

从 $FeCl_3$ 溶液制得 $FeCl_3·6H_2O$ 晶体的操作步骤是：加入少量盐酸、_____、_____、过滤、洗涤、干燥。再由 $FeCl_3·6H_2O$ 晶体得到无水 $FeCl_3$ 的操作是_____。

热点题空 3　转化过程中温度条件的控制

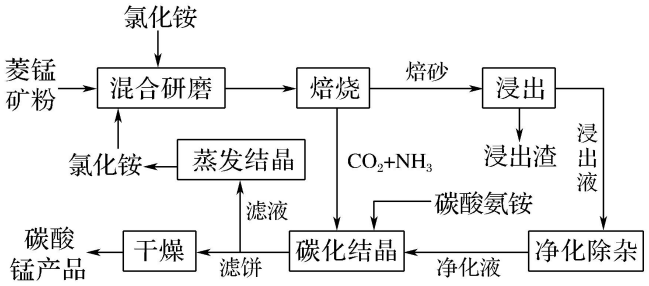
【高考必备知识】

升高温度	①加快反应速率或溶解速率 ②促进平衡向吸热方向(一般是有利于生成物生成的方向)移动，**如**：促进水解生成沉淀 ③除去受热不稳定的杂质，**如**：H_2O_2、氨水、铵盐(NH_4Cl)、硝酸盐、$NaHCO_3$、$Ca(HCO_3)_2$、$KMnO_4$ 等物质 ④使沸点相对低的物质气化或升华

降低温度	①防止某物质在温度较高时挥发或分解 ②使化学平衡向放热反应的方向移动，从而提高产物的产率 ③使某个沸点高的产物液化，使其与其他物质分离 ④控制温度结晶与过滤。 ⑤能源的利用(耗能)；生产安全(温度过高，反应过于剧烈，可能有安全问题)等。	
控制温度在一定范围(综合多因素考虑)	**温度过低**	反应速率过慢或溶解速率小
	温度过高	①催化剂逐渐失活，化学反应速率急剧下降 ②物质分解，**如：**$NaHCO_3$、NH_4HCO_3、氨水、H_2O_2、浓 HNO_3 等 ③物质会挥发，**如：**浓硝酸、浓盐酸、醋酸、液溴、乙醇等 ④物质氧化，**如：**Na_2SO_3 等 ⑤物质升华，**如：**I_2 升华
	控温方法	①缓慢加入××溶液或缓慢通入××气体、搅拌、少量多次加入。 ②水浴(热水浴、冰水浴等)、油浴、沙浴等。
答题策略	①若用到 H_2O_2、氨水、铵盐、硝酸盐等易分解的物质，**控温的目的是防止物质分解** ②若题目中出现有机物或有机溶剂，**控温的目的是防止其挥发** ③若溶液中制备物质，常使用加热的方法**加快反应速率** ④煮沸：促进水解，聚沉后利于过滤分离；除去溶解在溶液中的气体，如氧气 **⑤温度范围答题策略** a．温度不高于××℃的原因：适当加快反应速率, 但温度过高会造成(如浓硝酸)挥发，(如 H_2O_2、NH_4HCO_3)分解，(如 Na_2SO_3)氧化或促进(如 $AlCl_3$)水解等，影响产品的生成 b．温度不低于××℃的原因：加快反应速率或者对于吸热反应而言可是平衡正移，增加产率	

题型突破一．控制温度范围

1．氯化铵焙烧菱锰矿制备高纯度碳酸锰的工艺流程如下：



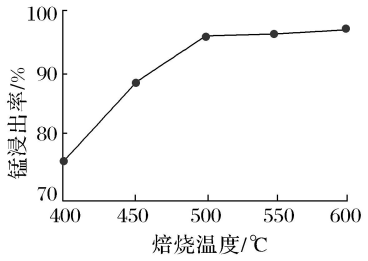
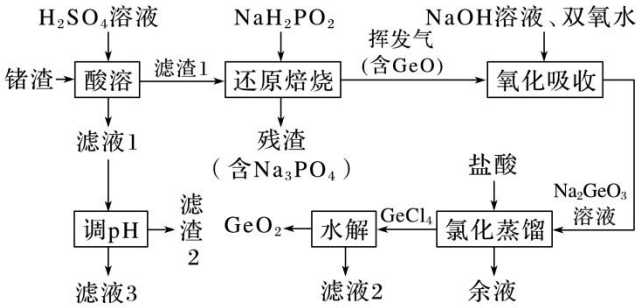
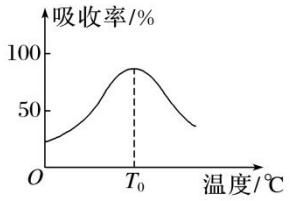


图1 焙烧温度对锰浸出率的影响

分析图 1，氯化铵焙烧菱锰矿的最佳条件是：焙烧温度为 500 ℃。分析选择反应温度为 500 ℃的原因_____。

2．二氧化锗(GeO_2)可用于光谱分析和制备催化剂、半导体材料。对 ISP 炼锌过程所得锗渣(主要成分 GeO、GeO_2、$ZnO·Fe_2O_3$，含有 SiO_2、难溶物杂质)进行处理的流程如下：



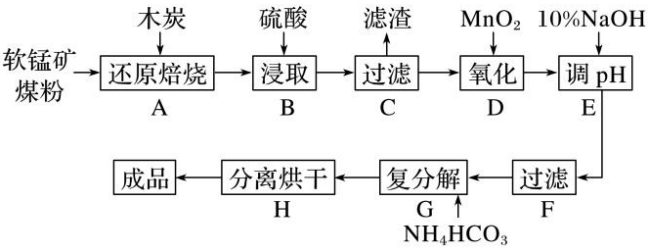


(1)GeO 的吸收率与温度的关系如图所示。T_0℃时吸收率最高的原因为_____。

(2)“水解”时，需控制温度为 95 ℃的目的为_____。

题型突破二．防止物质分解

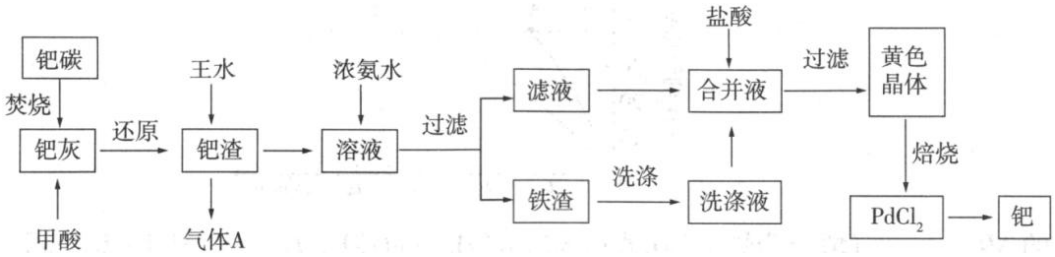
3．高纯 $MnCO_3$ 在电子工业中有重要的应用，工业上利用软锰矿(主要成分是 MnO_2，还含有 Fe_2O_3、$CaCO_3$、CuO 等杂质)制取碳酸锰的流程如图所示：



已知：还原焙烧主反应为 $2MnO_2+C\overset{焙烧}{=\!=\!=}2MnO+CO_2\uparrow$

步骤 G，温度控制在 35 ℃以下的原因是_____。

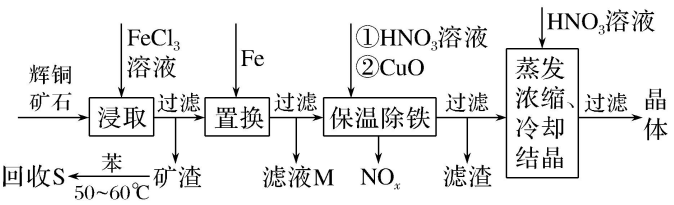
4．钯(Pd)是一种不活泼金属，含钯催化剂在工业、科研上用量较大。某废钯催化剂(钯碳)中含有钯(5%～6%)、碳(93%～94%)、铁(1%～2%)以及其他杂质，故钯碳具有很高的回收价值。如图是利用钯碳制备氯化钯($PdCl_2$)和(Pd)的流程



加入浓氨水，调节 pH 至 9.0，并控制温度在 70～75℃，Pd 元素以$[Pd(NH_3)_4]^{2+}$的形式存在于溶液中。若温度大于 75℃，则不利于除铁，原因是_____。

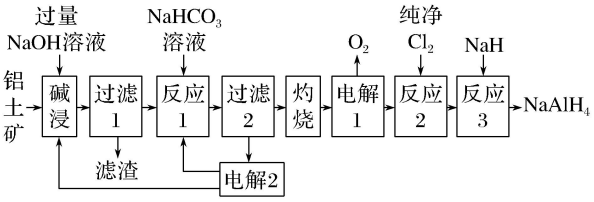
题型突破三．防止物质升华或挥发

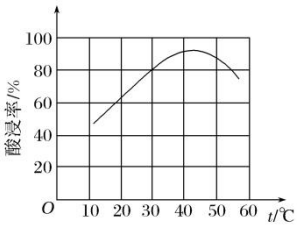
5．一种以辉铜矿(主要成分为 Cu_2S，含少量 SiO_2)为原料制备硝酸铜的工艺流程如图所示：



“回收 S”过程中温度控制在 50～60 ℃之间，不宜过高的原因是_____。

6．铝氢化钠($NaAlH_4$)是重要的还原剂。以铝土矿(主要成分 Al_2O_3，含少量 SiO_2、Fe_2O_3 等杂质)为原料制备 $NaAlH_4$ 的一种流程如图：





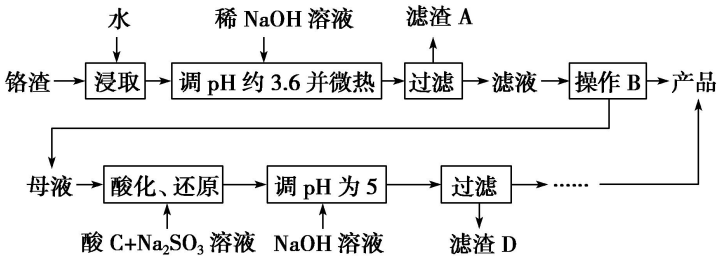
已知：碱浸中 SiO_2 转化成难溶的 $Na_2Al_2Si_xO_8$

滤渣溶于盐酸的“酸浸率”与温度关系如图所示，试解释温度过高，“酸浸率”降低的原因_____

_____。

题型突破四．促进物质水解、加快反应速率

7．从化工厂铬渣中提取硫酸钠的工艺如下：

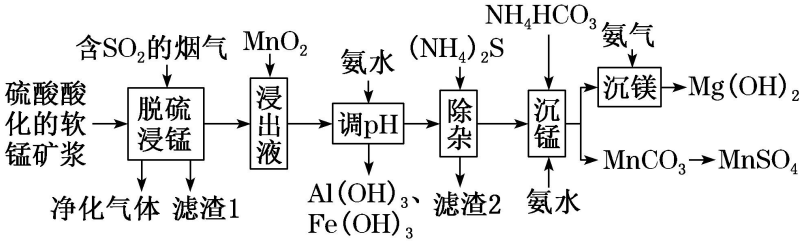


已知：①铬渣含有 Na_2SO_4 及少量 $Cr_2O_7^{2-}$、Fe^{3+}

②Fe^{3+}、Cr^{3+}完全沉淀($c \leq 1.0\times10^{-5}mol\cdot L^{-1}$)时 pH 分别为 3.6 和 5

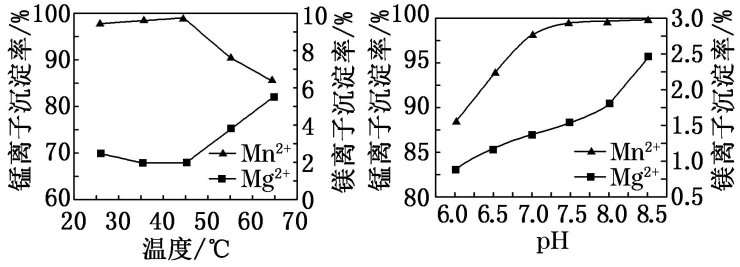
“微热”的目的是_____。

8．工业上利用软锰矿浆进行烟气脱硫并制备 $MnSO_4$ 和 $Mg(OH)_2$ 的工艺流程如图所示(已知软锰矿的主要成分是 MnO_2，还含有 Fe、Al、Mg、Zn、Ni、Si 等元素)



已知：$K_{sp}[Mg(OH)_2]=4.9\times10^{-12}$，$K_b(NH_3\cdot H_2O)=1.8\times10^{-5}$

“沉锰”过程中 pH 和温度对 Mn^{2+}和 Mg^{2+}沉淀率的影响如图所示



由图可知，“沉锰”的合适条件是_____，当温度高于 45 ℃时，Mn^{2+}和 Mg^{2+}沉淀率变化的原因是_____。

热点题空 4　工艺流程中的分离与提纯

【高考必备知识】

一、常见的结晶方法

1．蒸发结晶

(1)适用范围：提取溶解度受温度影响较小或随温度升高而减小的晶体。

(2)蒸发结晶的标志：当有大量晶体出现时，停止加热，利用余热蒸干。

(3)实例

①从NaCl溶液中获取NaCl固体

a．方法：蒸发结晶

b．具体操作：加热蒸发，当析出大量NaCl晶体时，停止加热，利用余热蒸干

②NaCl溶液中混有少量的 KNO_3溶液

a．方法：蒸发结晶、趁热过滤（如果温度下降，杂质也会以晶体的形式析出来）**、洗涤、干燥**

b．具体操作：若将混合溶液加热蒸发一段时间，析出的固体主要是NaCl，母液中是KNO_3和少量NaCl，这样就可以分离出大部分NaCl

c．趁热过滤的目的：防止KNO_3溶液因降温析出，影响NaCl的纯度

(4)减压蒸发结晶：降低溶剂的沸点，使蒸发在较低的温度下进行，防止易分解的目标产物发生分解。

2．降温结晶

(1)适用范围：提取溶解度随温度变化较大的物质(KNO_3)、结晶水合物($CuSO_4·5H_2O$)、在某温度范围内目标产物的溶解度较大而杂质的溶解度较小、目标产物在不同温度下析出的结晶水合物类型不同。

方法：蒸发浓缩、（在某一温度范围内）冷却结晶、过滤、洗涤、干燥

(2)蒸发结晶的标志：当有少量晶体(晶膜)出现时。

(3)实例：KNO_3溶液中混有少量的 NaCl溶液

a．方法：蒸发浓缩、冷却结晶、过滤、洗涤、干燥

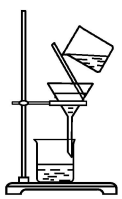
b．具体操作：若将混合溶液加热蒸发后再降温，则析出的固体主要是 KNO_3，母液中是 NaCl 和少量 KNO_3，这样就可以分离出大部分 KNO_3

3．重结晶：将制得的晶体溶于特定的溶剂中制得饱和溶液，又重新从溶液结晶析出而提纯的方法。

二、常见的过滤方法

1. 过滤

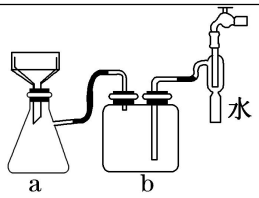
通过加入沉淀剂、调节 pH 等工序可实现对杂质的去除，但值得注意的是需要分析对产品的需求及生产目的的综合考虑，准确判断经过过滤后产生的滤液、滤渣的主要成分，准确判断是留下滤液还是滤渣。

<table>
<tr><td rowspan="5">  </td><td>适用范围</td><td colspan="2">把不溶性固体与液体进行分离</td></tr>
<tr><td>主要仪器</td><td colspan="2">铁架台(含铁圈)、烧杯、漏斗、滤纸</td></tr>
<tr><td rowspan="3">注意事项</td><td>一贴</td><td>滤纸紧贴漏斗内壁，中间不留有气泡</td></tr>
<tr><td rowspan="2">二低</td><td>滤纸上缘低于漏斗口</td></tr>
<tr><td>液面低于滤纸上缘</td></tr>
</table>

	注意事项	三靠	倾倒液体的烧杯紧靠玻璃棒
			玻璃棒紧靠三层滤纸处
			漏斗下端尖嘴处紧靠盛接滤液的烧杯内壁
		①若滤液浑浊，需更换滤纸，重新过滤，直至溶液澄清透明为止 ②浑浊的原因可能是：滤纸破损、滤液超过滤纸边缘、仪器不干净	

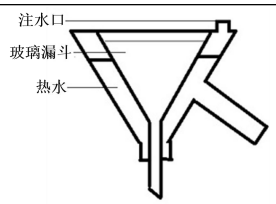
2. 减压过滤(抽滤)

减压过滤和抽滤是指同一种操作，其原理与普通的常压过滤相同。相比普通过滤，抽滤的优点是**加快过滤速率，固液分离更彻底。**

	由于水流的作用，使装置 a、b 中气体的压强减小，故使过滤速率加快

3. 趁热过滤

趁热过滤指将温度较高的固液混合物直接使用常规过滤操作进行过滤，但是由于常规过滤操作往往耗时较长，这样会导致在过滤过程中因混合物温度降低而使溶质析出，影响分离效果。因此可使用热过滤仪器、将固液混合物的温度保持在一定范围内进行过滤，所以又称为热过滤

	保温漏斗（热漏斗）由金属(铜)夹套组成。将单层玻璃漏斗置于铜夹套内，由铜夹套的注水口注入水、并通过使用酒精灯对加热处进行加热，达到使金属夹套中的水升温、进而间接加热漏斗中混合物来保持过滤在一定温度下进行

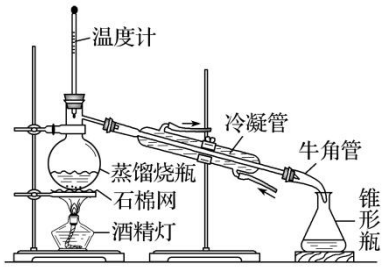
三、沉淀的洗涤方法

洗涤试剂		适用范围	目的
蒸馏水	冷水	产物不溶于水	除去固体表面吸附着的××杂质，可适当降低固体因为溶解而造成的损失
	热水	有特殊的物质其溶解度随着温度升高而下降	除去固体表面吸附着的××杂质，可适当降低固体因为温度变化溶解而造成的损失
有机溶剂(酒精、丙酮等)		固体易溶于水、难溶于有机溶剂	减少固体溶解；利用有机溶剂的挥发性除去固体表面的水分，产品易干燥
饱和溶液		对纯度要求不高的产品	减少固体溶解
酸、碱溶液		产物不溶于酸、碱	除去固体表面吸附着的可溶于酸、碱的杂质；减少固体溶解
洗涤沉淀的方法：向过滤器中加入洗涤试剂至浸没沉淀，待洗涤试剂自然流下后，重复以上操作 2~3 次			
检验沉淀是否洗涤干净的方法：取少量最后一次的洗涤液于试管中，向其中滴入某试剂，若未出现特征反应现象，则沉淀洗涤干净			

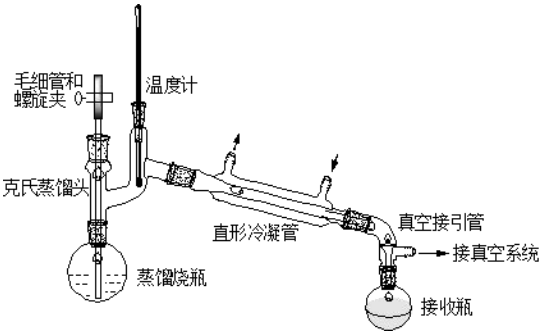
四、常见的蒸馏方法

1．常压蒸馏

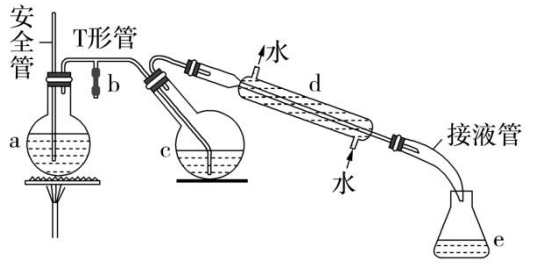
蒸馏是利用液体混合物中各组分的沸点不同，给液体混合物加热，使其中的某一组分变成蒸气再冷凝成液体，跟其他组分分离的操作

	适用范围	分离沸点相差较大且互溶的液体混合物
	主要仪器	铁架台(含铁圈、铁夹)、酒精灯、石棉网、蒸馏烧瓶、温度计、直形冷凝管、牛角管、接收器(锥形瓶)
	注意事项	①温度计的水银球在蒸馏烧瓶的支管口处 ②蒸馏烧瓶中要加沸石或碎瓷片，目的是防止暴沸 ③冷凝管水流方向为下口进，上口出 ④蒸馏烧瓶里盛液体的用量最好不要超过烧瓶容量的2/3，也不少于1/3 ⑤实验开始时，先通冷却水，后加热。实验结束时，先停止加热，后关冷却水。溶液不可蒸干

2．减压蒸馏

	适用范围	高沸点物质，沸点前受热易分解、易氧化、易聚合物质
	主要仪器	铁架台(含铁圈、铁夹)、酒精灯、石棉网、圆底烧瓶、克氏蒸馏头、毛细管、温度计、直形冷凝管、牛角管、接收器、真空泵
	注意事项	①毛细管的作用：提供气化中心，防止暴沸；起搅拌作用。 ②克氏蒸馏头的作用：便于同时安装毛细管与温度计；防止液体剧烈沸腾而冲入冷凝管。

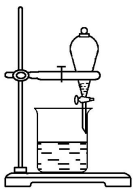
3．水蒸气蒸馏

	适用范围	有挥发性、能随水蒸气蒸出而不被破坏、在水中稳定且难溶或不溶于水的有机物
	主要仪器	铁架台(含铁圈、铁夹)、酒精灯、石棉网、圆底烧瓶、玻璃管、直形冷凝管、牛角管、接收器
	注意事项	①玻璃管（安全管）作用：起缓冲作用，平衡气压，防止堵塞； ②c烧瓶倾斜放置的原因：防止液体喷溅进入冷凝管； ③蒸馏结束时的现象：馏出液无明显油珠；接收器内有机层不再增加。

五、萃取与反萃取

1. 萃取

（1）液液萃取：利用溶质在互不相溶的溶剂里的溶解度不同，用一种溶剂(萃取剂)把溶质从它与另一种溶剂组成的溶液里提取出来的过程。

	主要仪器	铁架台(含铁圈)、烧杯、分液漏斗
	萃取剂的选择	①溶质在萃取剂中的溶解度比在原溶剂中大的多； ②萃取剂与原溶剂不反应、不相溶； ③萃取剂与溶质不反应。
	注意事项	①分液漏斗使用之前必须检漏； ②振荡萃取时，需打开下口活塞放气； ③放液时，分液漏斗的玻璃塞打开或使塞上的凹槽和漏斗口上的小孔要对齐； ④分液时，下层液体从下口放出，上层液体从上口倒出，下端尖嘴处要紧靠烧杯内壁； ⑤常用的萃取剂是苯或 CCl_4，一般不用酒精作萃取剂。

（2）固液萃取：利用固态吸附剂，将液相中之某些溶质吸附于其上，达成分离或纯化之效果

2. 反萃取

用反萃取剂使被萃取物从负载有机相返回水相的过程，为萃取的逆过程。

例：用反萃取法从碘的 CCl_4 溶液提取碘单质。

例：利用有机萃取剂（如有机酸 HR）可将金属离子 M^{n+}萃取，进而与其他离子分离。后需将有机萃取剂中的金属离子重新返回水溶液中。有机萃取剂（如有机酸 HR）萃取金属离子 M^{n+}的过程为可逆的离子交换反应：

$$M^{n+}\text{(水相)} + nHR\text{(有机相)} \rightleftharpoons MRn\text{(有机相)} + nH^{+}\text{(水相)}$$

萃取时： 消耗 H^+（即增大 pH），使平衡正移，金属离子进入有机相

反萃取时： 加入高浓度酸，使平衡逆移，金属离子 M^{n+} 返回水相，萃取剂 HR 再生

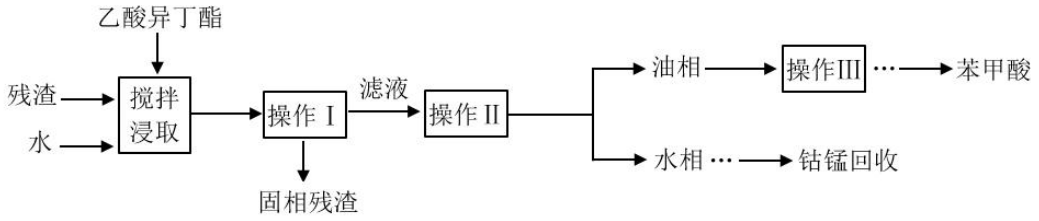
六、其他方法

1．升华法：利用某些固体物质在加热时能够不经过液态直接转变为气态（升华），而其他物质不升华或升华温度不同，从而实现分离提纯。气化的物质在温度较低的区域（如容器壁或冷凝管）重新凝结为固体，从而得到纯净的升华产物。

2. 盐析法：利用高浓度盐类物质（如硫酸铵、氯化钠等）降低蛋白质等大分子物质在水中的溶解度，使其从溶液中沉淀析出，从而实现分离。盐析作用的本质是盐离子与蛋白质等大分子竞争水分子，破坏大分子表面的水化膜，同时盐离子中和大分子表面的电荷，降低其亲水性，导致溶解度下降而沉淀。不同蛋白质的盐析浓度不同，通过控制盐的浓度可以实现选择性沉淀分离。盐析法具有操作简便、条件温和、不破坏蛋白质生物活性等优点，广泛应用于蛋白质的分离纯化。

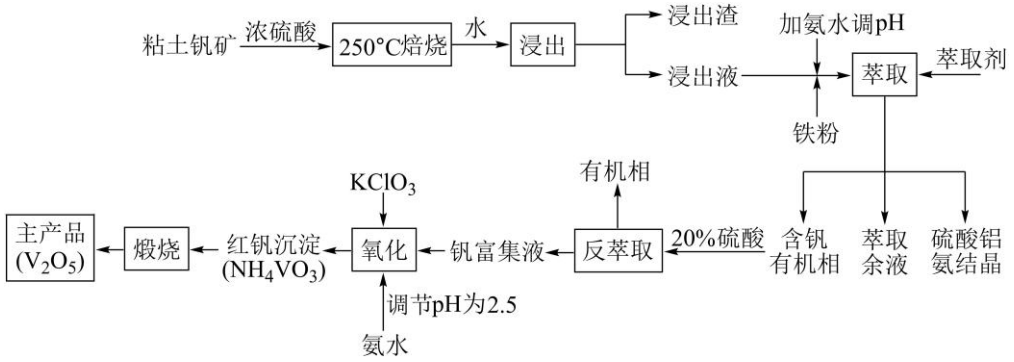
【题组训练】

1．精对苯二甲酸(PTA)是生产聚酯纤维的重要化工原料。生产过程产生的氧化残渣主要含有苯甲酸、对苯二甲酸、钴锰催化剂等。采用以下工艺流程可实现 PTA 残渣中有效成分苯甲酸和 Co^{2+}、Mn^{2+}的回收与纯化，达到废物再利用的目的。



操作 I 的方法是_____；实验室进行操作II主要用的玻璃仪器有_____。

2．粘土钒矿(含 V_2O_5、Fe_2O_3、Al_2O_3、SiO_2 等不溶性成分)制备 V_2O_5 的工艺流程如下：



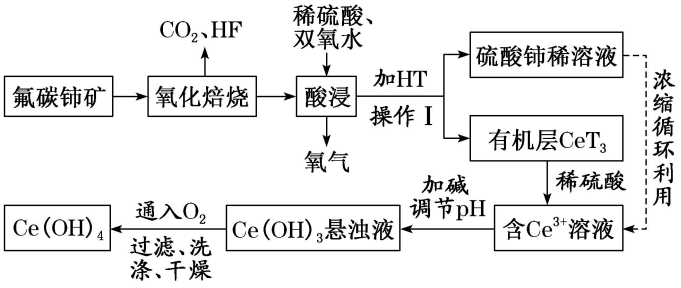
已知：①硫酸氧钒[(VO)SO_4]高温易分解生成 VO_2 和 SO_3

②萃取剂对相关离子的萃取能力如下表：

微粒	VO^{2+}	VO_2^+	Fe^{3+}	Fe^{2+}
萃取能力	强(随 pH 增大而增强)	弱	强	弱

“反萃取”用 20%硫酸目的为_____，“氧化”的离子方程式为_____

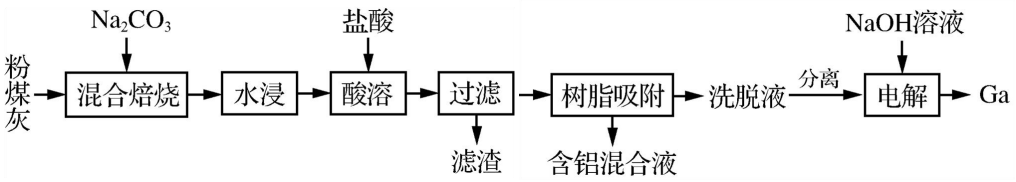
3．氟碳铈矿(主要成分为 $CeFCO_3$)是提取稀土化合物、冶炼铈的重要矿物原料，以氟碳铈矿为原料提取铈的工艺流程如图所示。回答下列问题：



(1)HT 是一种难溶于水的有机溶剂，则操作I的名称为_____。

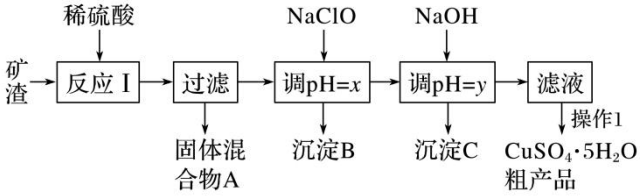
(2)有机物 HT 能将 Ce^{3+}从水溶液中提取出来，该过程可表示：Ce^{3+}(水层)＋3HT(有机层)$\rightleftharpoons$$CeT_3$(有机层)＋3$H^+$(水层)。向 CeT_3(有机层)中加入稀硫酸能获得较纯的含 Ce^{3+}水溶液，从平衡角度解释其原因：_____。

4．我国某地粉煤灰中主要含有 Al_2O_3，除此之外还含有 Ga_2O_3 及少量 Fe_2O_3、CaO、MgO 和 SiO_2 等物质。已知从粉煤灰中回收铝并提取镓的工艺流程如下所示：



滤渣的成分是_____；含铝混合液中除了大量 Al^{3+} 之外，还有 Fe^{3+} 和少量 Mg^{2+}，由混合液制取纯净 $Al(OH)_3$ 的实验方案是_____。

5．某矿渣的成分为 Cu_2O、Al_2O_3、Fe_2O_3、SiO_2，工业上用该矿渣获取铜和胆矾的操作流程如下：



请回答下列问题：操作 1 主要包括：_____、_____、_____。洗涤 $CuSO_4·5H_2O$ 粗产品不能用大量水洗，而用冰水洗涤，原因是_____。

热点题空 5　工艺流程中的答题规范

【高考必备知识】

1．沉淀的洗涤操作

(1)答题模板：沿玻璃棒向漏斗(过滤器)中加入蒸馏水至浸没沉淀，待水自然流下后，重复实验 2～3 次

(2)实例：在测定 Na_2SO_4 和 NaCl 的混合物中 Na_2SO_4 的质量分数时，可以在混合物中加入过量 $BaCl_2$ 溶液，沉淀 SO_4^{2-}，然后过滤、洗涤、烘干、称量得到 $BaSO_4$ 的质量，试问：怎样洗涤沉淀？

沿玻璃棒向漏斗中加入蒸馏水至浸没沉淀，待水自然流下后，重复实验 2～3 次

2．证明沉淀完全的操作

(1)答题模板：静置，取少量上层清液于试管中，加入×××试剂(沉淀剂)，若没有×××沉淀产生，则证明××沉淀完全

(2)实例：在测定 Na_2SO_4 和 NaCl 的混合物中 Na_2SO_4 的质量分数时，可以在混合物中加入过量 $BaCl_2$ 溶液，沉淀 SO_4^{2-}，然后过滤、洗涤、烘干、称量得到 $BaSO_4$ 的质量，试问：怎样判断 SO_4^{2-} 是否沉淀完全？

静置，取上层清液少许于试管中，继续加入 $BaCl_2$ 溶液，若无白色沉淀产生，则证明 SO_4^{2-} 沉淀完全

3．检验沉淀是否洗涤干净的操作

(1)答题模板：取最后一次洗涤液少量于试管中，加入××试剂(根据沉淀可能吸附的杂质离子，选择合适的检验试剂)，若没有××(特征现象)出现，则证明沉淀已洗涤干净

(2)实例：在测定 Na_2SO_4 和 NaCl 的混合物中 Na_2SO_4 的质量分数时，可以在混合物中加入过量 $BaCl_2$ 溶液，沉淀 SO_4^{2-}，然后过滤、洗涤、烘干、称量得到 $BaSO_4$ 的质量，试问：怎样判断沉淀是否洗净？

取最后一次洗涤液少量于试管中，加入稀 HNO_3 酸化的 $AgNO_3$ 溶液，若无白色沉淀产生，则证明沉淀已洗净。

4．判断滴定终点的答题规范

(1)答题模板：当滴入最后半滴×××标准溶液后，溶液由×××色变成×××色，或溶液×××色褪去，且半分钟内不恢复原来的颜色

(2)实例：用标准盐酸滴定未知浓度的氢氧化钠溶液，酚酞作指示剂，滴定终点的判断：当加入最后半滴标准盐酸后，溶液由红色变为无色，且半分钟内不恢复原来的颜色

5．描述离子检验现象的答题规范

(1)答题模板：取试样→加水溶解→加……试剂 $\xrightarrow{\text{除干扰}}$ $\xrightarrow{\text{分离}}$ 加……检验试剂→观察现象→得出结论

(2)实例：检验 SO_4^{2-}：取少量溶液于试管中，加入足量稀盐酸，无明显现象，再加入 $BaCl_2$ 溶液，若有白色沉淀产生，则证明有 SO_4^{2-}

6．增大原料浸出率的措施

搅拌、升高温度、延长浸出时间、增大气液或固液接触面积

7．蒸发结晶的操作

(1)从NaCl溶液中获取NaCl固体

①方法：蒸发结晶

②具体操作：加热蒸发，当析出大量NaCl晶体时，停止加热，利用余热蒸干

(2)NaCl溶液中混有少量的 KNO_3溶液

①方法：蒸发结晶、趁热过滤、洗涤、干燥

②具体操作：若将混合溶液加热蒸发一段时间，析出的固体主要是NaCl，母液中是KNO_3和少量NaCl，这样就可以分离出大部分NaCl

8．冷却（降温）结晶的操作：KNO_3 溶液中混有少量的 NaCl 溶液

①方法：蒸发浓缩、冷却结晶、过滤、洗涤、干燥

②具体操作：若将混合溶液加热蒸发后再降温，则析出的固体主要是 KNO_3，母液中是NaCl 和少量 KNO_3，这样就可以分离出大部分 KNO_3

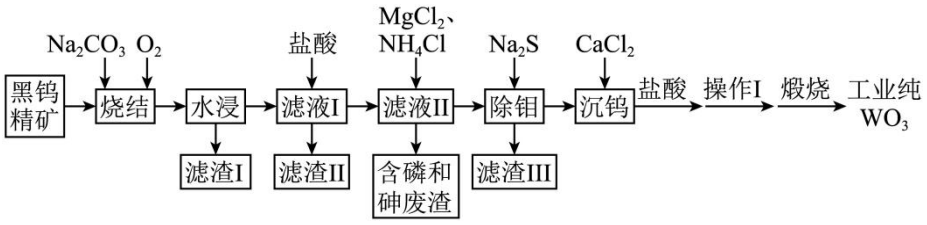
9．“目的或原因”类

目的或原因	思考方向
沉淀(晶体)洗涤的目的	若滤渣是所需的物质，洗涤的目的是除去晶体表面的可溶性杂质，得到更纯净的沉淀物
	若滤液是所需的物质，洗涤的目的是洗涤过滤所得到的滤渣，把有用的物质如目标产物尽可能洗出来
沉淀(晶体)冰水洗涤的目的	既能洗去晶体表面的杂质离子，且能防止晶体在洗涤过程中的溶解损耗
沉淀(晶体)用有机溶剂(酒精、丙酮等)洗涤的目的	既能洗去晶体表面的杂质离子，且能防止晶体在洗涤过程中的溶解损耗，此外又利用有机溶剂的挥发性，除去固体表面的水分，产品易干燥
控制溶液 pH 的目的	防止××离子水解；防止××离子沉淀；确保××离子沉淀完全；防止××溶解等

温度不高于×× ℃的原因	温度过高××物质分解(如 H_2O_2、浓硝酸、NH_4HCO_3 等)或××物质挥发(如浓硝酸、浓盐酸)或××物质氧化(如 Na_2SO_3 等)或促进××物质水解(如 $AlCl_3$ 等)
蒸发、反应时的气体氛围	抑制××离子的水解(如加热蒸发 $AlCl_3$ 溶液时需在 HCl 气流中进行，加热 $MgCl_2·6H_2O$ 得 $MgCl_2$ 时需在 HCl 气流中进行等)
加热的目的	加快反应速率或促进平衡向某个方向(一般是有利于生成物生成的方向)移动
减压蒸馏(减压蒸发)的原因	减小压强，使液体沸点降低，防止××物质受热分解(如 H_2O_2、浓硝酸、NH_4HCO_3 等)
减压过滤的目的	加快过滤速度，使固体更干燥
减压烘干的目的	降低产品的烘干温度，防止产品分解
减压蒸发的原因	减压蒸发降低了蒸发温度，可以防止某物质分解(如 H_2O_2、浓硝酸、NH_4HCO_3)或失去结晶水(如题目要求制备结晶水合物产品)
趁热过滤的目的	防止过滤一种晶体或杂质的过程中，因降温而析出另一种晶体
	①要滤渣(产品)：防止降温时析出杂质而影响产品纯度或减少产品溶解损耗 **如：**NaCl (KNO_3) ②要滤液(产品)：防止降温时析出产品(溶解度随温度增大而增大)而损耗 (除去溶解度小或难溶的杂质)

【题组训练】

1. 黑钨精矿中钨元素以($FeWO_4$ 和 $MnWO_4$)形式存在，其中还含有少量硅(SiO_2)、磷、砷以及钼的化合物，工业上常用黑钨精矿冶炼金属钨及其化合物，其工艺流程如图：



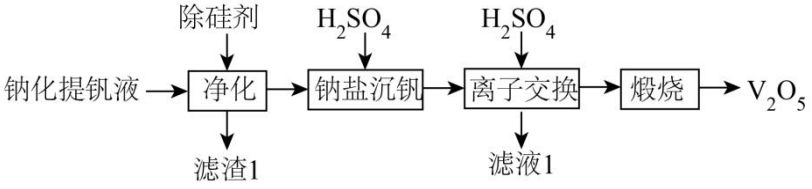
注：已知钨酸钙 $CaWO_4$ 的溶度积常数为 5×10^{-10}，而 WO_4^{2-}在 pH=5 的溶液中会完全沉淀。

（1）为了获得黑钨精矿需要对原矿经过粗选、浮选等措施的目的是_____。

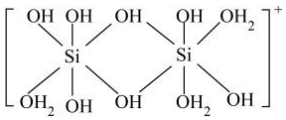
（2）在滤液 I 中通过加入盐酸将溶液的 pH 调节至 8~9，其目的是_____。

（3）通过过滤、洗涤、干燥后，可得到纯净的 H_2WO_4 沉淀，则验证 H_2WO_4 是否洗净的方法为_____。

2. 钒钛赤铁矿经高炉炼铁后得到钒渣，钒渣处理后得到钠化提钒液，主要含有 Na^+、VO_2^+（还含有少量 Cr、Si 元素），由钠化提钒液提取 V_2O_5 晶体的流程如下图所示。

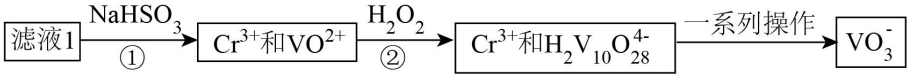


（1）一种新的除硅工序为先酸化生成硅酸胶粒（结构如下图所示），再加入可解离出 $RCOO^-$、RSO_3^-的聚羧酸减水剂生成沉淀。



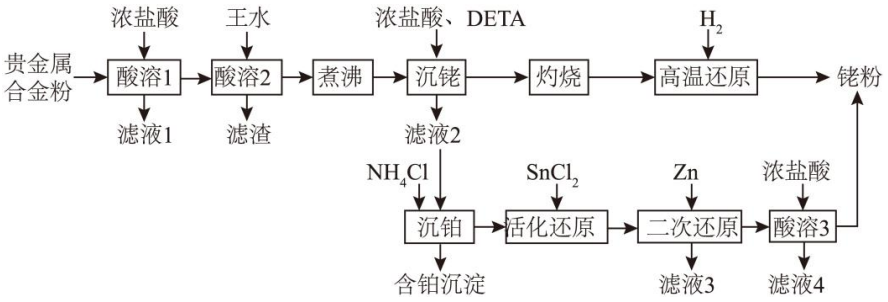
聚羧酸减水剂能使硅酸胶粒沉淀的原因是_____。

（2）滤液 1 中含有 $Cr_2O_7^{2-}$和少量 VO_2^+。一种分离铬与钒的方法如下图所示。



加入 H_2O_2 的作用是_____。

3. 一种从预处理得到的贵金属合金粉[主要成分为 Fe、Rh(铑)、Pt，含有少量 SiO_2]中尽可能回收铑的工艺流程如下：



（1）“酸溶 1”的目的是_____。

（2）“酸溶 3”的目的是_____。

热点题空 6　工艺流程中方程式的书写

【方法与技巧】

类型一、陌生氧化还原反应方程式的书写

1．书写关键——识记常见氧化剂、还原剂及产物预测

(1)常见的氧化剂及还原产物预测

氧化剂	$KMnO_4$(酸性)	$K_2Cr_2O_7$(酸性)	浓硝酸	稀硝酸	H_2O_2	X_2(卤素)	NaClO(或 ClO^-)	$KClO_3$	Fe^{3+}	PbO_2
对应还原产物	Mn^{2+}	Cr^{3+}	NO_2	NO	H_2O	X^-	Cl^-	Cl^-	Fe^{2+}	Pb^{2+}

(2)常见的还原剂及氧化产物预测

还原剂	Fe^{2+}	SO_2(H_2SO_3)	SO_3^{2-}	$S_2O_3^{2-}$	S^{2-}(H_2S)	$H_2C_2O_4$	H_2O_2	I^-(HI)	CO	NH_3
对应氧化产物	Fe^{3+}	SO_4^{2-}	SO_4^{2-}	SO_4^{2-}	S	CO_2	O_2	I_2	CO_2	N_2/NO

2．书写方法

(1)第一步：根据题干信息或流程图的入口和出口，判断出反应物和生成物

(2)第二步：确定反应物和生成物中变价元素的化合价，按“氧化剂＋还原剂⟶还原产物＋氧化产物”写出方程式，并按化合价升降的原则配平参与氧化还原反应的各物质的化学计量系数

(3)第三步：依据电荷守恒、原子守恒和溶液的酸碱性补齐缺失物质并配平。若反应是在水溶液中进行，一般在方程式左边或右边补充 H^+、OH^-或 H_2O

类型二、陌生非氧化还原反应方程式的书写

运用“证据⟶推理⟶符号”思路，书写新情境化学方程式的基本思路为：“读取”流程中的有效信息(证据)，找出主要的反应物和生成物(推理)，再依据质量守恒定律和电荷守恒规律写出反应的化学(离子)方程式，书写步骤如下：

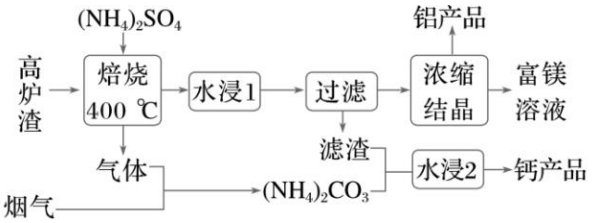
(1)第一步：分析流程图的入口和出口，确定反应物与生成物，有些生成物可依据物质类别的通性及反应规律判断出

(2)第二步：初步表示出反应过程：反应 I＋反应 II⟶生成物 I＋生成物 II

(3)第三步：依据电荷守恒或原子守恒，补齐缺失物质并将方程式配平

【题组训练】

1.[2024·甘肃，15(1)(2)(3)]我国科研人员以高炉渣(主要成分为 CaO，MgO，Al_2O_3 和 SiO_2 等)为原料，对炼钢烟气(CO_2 和水蒸气)进行回收利用，有效减少了环境污染，主要流程如图所示：



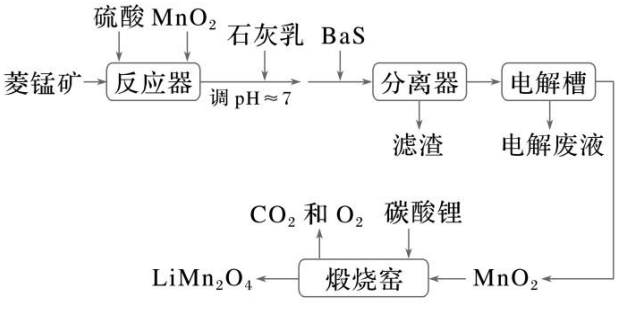
已知：$K_{sp}(CaSO_4)=4.9\times10^{-5}$　　$K_{sp}(CaCO_3)=3.4\times10^{-9}$

(1)高炉渣与$(NH_4)_2SO_4$经焙烧产生的“气体”是_____。

(2)“滤渣”的主要成分是 $CaSO_4$ 和_____。

(3)“水浸 2”时主要反应的化学方程式为_____。

2.[2023·全国乙卷]$LiMn_2O_4$ 作为一种新型锂电池正极材料受到广泛关注。由菱锰矿($MnCO_3$，含有少量 Si、Fe、Ni、Al 等元素)制备 $LiMn_2O_4$ 的流程如下：



已知：$K_{sp}[Fe(OH)_3]=2.8\times10^{-39}$，$K_{sp}[Al(OH)_3]=1.3\times10^{-33}$，$K_{sp}[Ni(OH)_2]=5.5\times10^{-16}$。

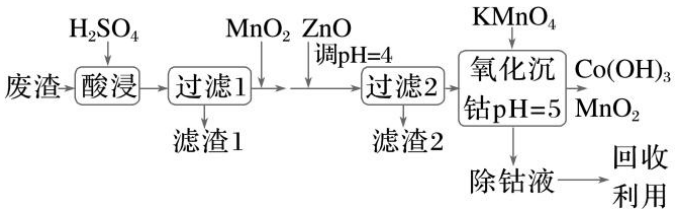
(1)硫酸溶矿主要反应的化学方程式为_____。

(2)加入少量 BaS 溶液除去 Ni^{2+}，生成的沉淀有_____。

(3)在电解槽中，发生电解反应的离子方程式为_____。

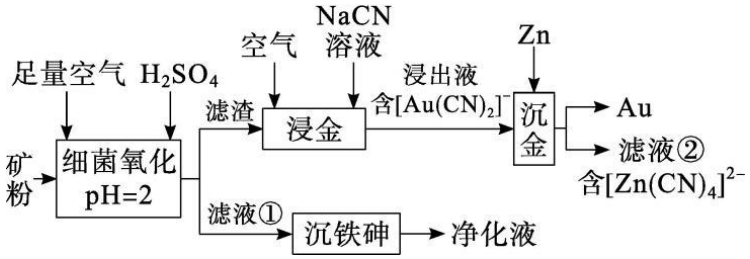
(4)煅烧窑中，生成 $LiMn_2O_4$ 反应的化学方程式是_____。

3.(2024·新课标卷)钴及其化合物在制造合金、磁性材料、催化剂及陶瓷釉等方面有着广泛应用。一种从湿法炼锌产生的废渣(主要含 Co、Zn、Pb、Fe 的单质或氧化物)中富集回收得到含锰高钴成品的工艺如下：



“氧化沉钴”中氧化还原反应的离子方程式为_____、_____。

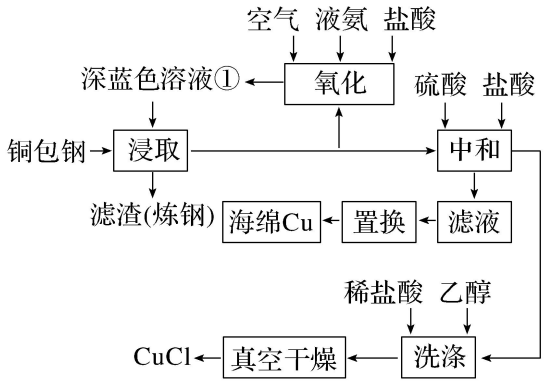
4.[2024·黑吉辽卷]已知金属硫化物在“细菌氧化”时转化为硫酸盐,某工厂用细菌冶金技术处理载金硫化矿粉(其中细小的 Au 颗粒被 FeS_2、FeAsS 包裹),以提高金的浸出率并冶炼金,工艺流程如下:



(1)“细菌氧化”中，FeS_2 发生反应的离子方程式为_____。

(2)滤液②经 H_2SO_4 酸化,$[Zn(CN)_4]^{2-}$ 转化为 $ZnSO_4$ 和 HCN 的化学方程式为 _____。

5.(2023·河北卷)闭环循环有利于提高资源利用率和实现绿色化学的目标。利用氨法浸取可实现废弃物铜包钢的有效分离，同时得到的 CuCl 可用于催化、医药、冶金等重要领域。工艺流程如下：



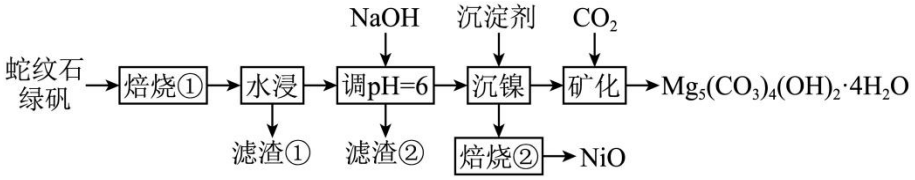
已知：室温下的 $K_{sp}(CuCl)=10^{-6.8}$。

回答下列问题：

(1)浸取工序的产物为 $[Cu(NH_3)_2]Cl$，该工序发生反应的化学方程式为_____。浸取后滤液的一半经氧化工序可得深蓝色溶液①，氧化工序发生反应的离子方程式为_____。

(2)补全中和工序中主反应的离子方程式$[Cu(NH_3)_2]^+ + 2H^+ + Cl^- ==$_____+_____。

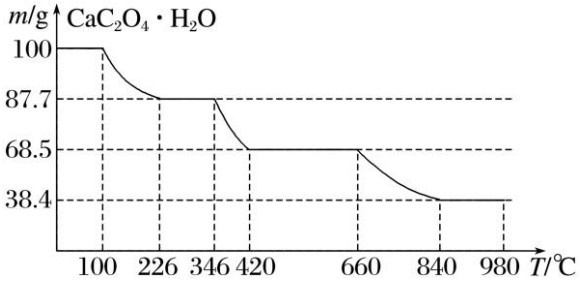
6.（2025·全国卷）我国的蛇纹石资源十分丰富，它的主要成分是$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$，伴生有少量Ni、Fe、Al等元素。利用蛇纹石转化与绿矾分解的耦合回收NiO并矿化固定二氧化碳的实验流程如图所示。



(1)绿矾($FeSO_4\cdot7H_2O$)在高温下分解，得到红棕色固体和气体产物，反应的化学方程式为_____。

(2)调节“沉镍”后的溶液为碱性，“矿化”反应的离子方程式为_____。

7.草酸钙晶体($CaC_2O_4\cdot H_2O$)在氮气氛围中的热重曲线示意图如下：



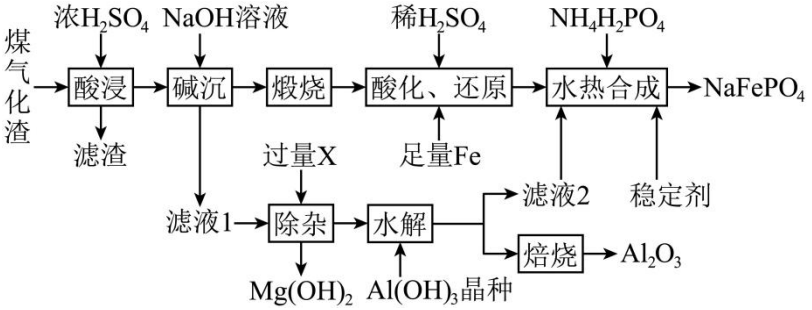
分别写出在①100~226 ℃、②346~420 ℃、③660~840 ℃的化学方程式

①_____

②_____

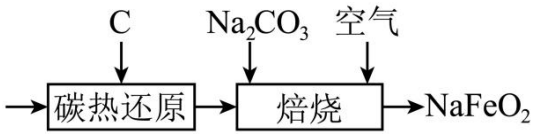
③_____。

8（2024·贵州）煤气化渣属于大宗固废，主要成分为Fe_2O_3、Al_2O_3、SiO_2及少量MgO等。一种利用“酸浸—碱沉—充钠”工艺，制备钠基正极材料$NaFePO_4$和回收Al_2O_3的流程如下：



(1)“水热合成”中，$NH_4H_2PO_4$作为磷源，水热合成$NaFePO_4$的离子方程式为_____。

(2)“煅烧”得到的物质也能合成钠基正极材料$NaFeO_2$，其工艺如下该工艺经碳热还原得到Fe_3O_4，“焙烧”生成$NaFeO_2$的化学方程式为_____。



热点题空 7　工艺流程中加入试剂的作用和循环物质的确定

【高考必备知识】

一、加入试剂的作用

1．判断所需加入的试剂及分析试剂作用的基本思路

(1)看反应目的：分析加入试剂后通过化学反应需要实现的目的

(2)看试剂性质：分析加入试剂本身的性质(物质类别、所含元素的化合价、周期表中的位置等)

(3)看生成物：分析反应前后的物质组成的变化

(4)看可能信息：综合利用流程信息和小题干中提供的信息

2．常见试剂及功能

试剂功能	常见试剂	核心作用	答题模板
溶解浸出	①水；②酸（H_2SO_4、HCl、HNO_3、显酸性的铵盐等）；③碱（NaOH、KOH、$NH_3·H_2O$、显碱性的盐等）	①使原料中的可溶性成分溶解，便于后续分离和反应；②酸浸：可使金属氧化物溶解；③碱浸：除去油污，溶解酸性氧化物、两性金属及其化合物	作浸取剂，将***溶解，促进其浸出/便于与***分离
调节 pH	①酸、酸性氧化物（CO_2）、水解显酸性的盐等；②碱、碱性氧化物、水解显碱性的盐等	①促进某离子水解为氢氧化物沉淀；②防止某离子沉淀；③抑制某离子水解；④提高某金属离子的萃取率；⑤防止某些离子在酸性/碱性条件下发生副反应；⑥调控化学反应的方向	调节溶液 pH 至***，使***离子沉淀完全，同时防止***离子（目标离子）沉淀
氧化或还原	①氧化剂：H_2O_2、HNO_3、空气、次氯酸盐、MnO_2、$Na_2S_2O_8$ 等；②还原剂：SO_2、Na_2SO_3、Fe^{2+}、H_2O_2、$H_2C_2O_4$、金属单质等	①除杂（先将 Fe^{2+}氧化成 Fe^{3+}，再调节 pH，使其以 $Fe(OH)_3$ 沉淀除去）；②生成目标产物	作氧化剂/还原剂，将***转化为***，以便分离/制备***
沉淀剂	①硫化钠、硫化铵、硫化亚铁等，生成硫化物沉淀； ②可溶性碳酸盐（或碳酸氢盐），生成碳酸盐沉淀； ③氟化钠、氟化铵，除去 Ca^{2+}、Mg^{2+}	①除杂：提供阴离子与杂质离子形成难溶盐沉淀，利用 Ksp 差异除杂；②生成目标产物	提供***离子，与***离子反应生成***沉淀，以便分离/制备***

萃取或反萃取	①有机溶剂或萃取剂；②酸	萃取目标离子或杂质离子，实现分离	萃取***离子，以便与***离子分离/提高***离子浓度，使萃取平衡向***方向移动，使***离子重新进入水溶液中
络合剂	$NH_3·H_2O$ 、 NaCN 、EDTA 等	形成可溶性配离子，溶解难溶物	作络合剂，与***形成可溶性配离子，促进其溶解浸出/便于与***分离

(1)答题模板：紧扣 “试剂性质 + 流程目标 + 产物影响”

(2)常见误区：只答“除杂”不指明离子，只说“调 pH”不写 pH 范围或沉淀离子，氧化/还原反应漏写转化价态等。

二．工艺流程中物质的确定

(1)循环物质的确定

①观察流程图：回头箭头（流程中从后一步指向前面某步的物质）。

②分析物质转化：在流程中加入的物质，在后续步骤中又作为生成物出现，且容易分离，可作为循环物质。(滤渣或滤液、结晶过滤后的母液)

③考虑可逆反应：可逆反应中未完全转化的反应物或生成物，可通过循环利用提高原料利用率。

(2)副产品的确定

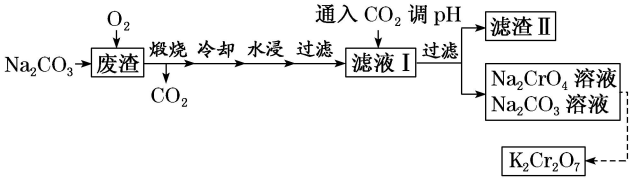
①从流程图上看：支线产品；②从制备的目的上判断：不是主产品

(3)滤渣成分的确定

①过量的反应物；②原料中不参与反应的物质；③由原料转化的生成物；④由杂质转化的沉淀物

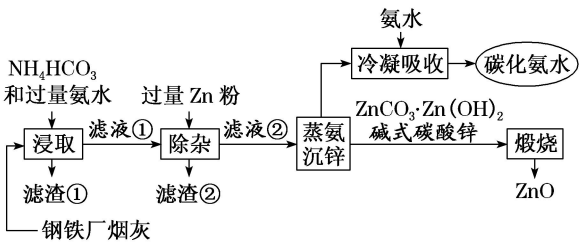
【题组训练】

1．以某冶金工业产生的废渣(含 Cr_2O_3、SiO_2 及少量的 Al_2O_3)为原料，根据下列流程可制备 $K_2Cr_2O_7$。



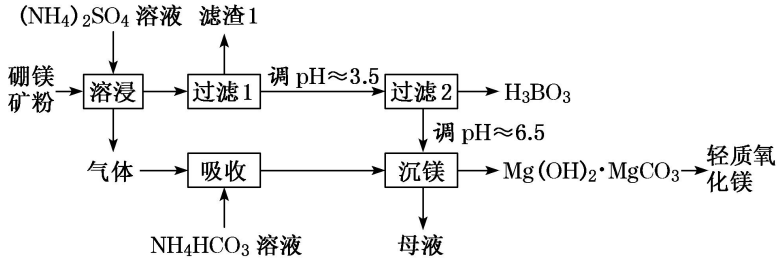
上述流程中可循环使用的物质是_____。

2．如图所示，工艺流程如下：



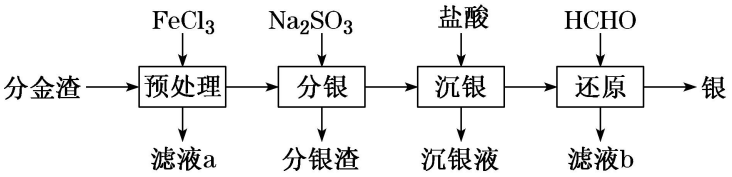
“蒸氨沉锌”工序中，“蒸氨”是将氨及其盐从固液混合物中蒸出，蒸出物冷凝吸收后得到的碳化氨水可返回_____工序循环使用。

3．硼酸(H_3BO_3)是一种重要的化工原料，广泛应用于玻璃、医药、肥料等工业。一种以硼镁矿(含 $Mg_2B_2O_5·H_2O$、SiO_2 及少量 Fe_2O_3、Al_2O_3)为原料生产硼酸及轻质氧化镁的工艺流程如下：



在“沉镁”中生成 $Mg(OH)_2·MgCO_3$ 沉淀，母液经加热后可返回_____工序循环使用。

4．从分金渣(主要成分为 AgCl、Ag_2S、$PbSO_4$、$BaSO_4$)中获取高纯银的流程如图所示：



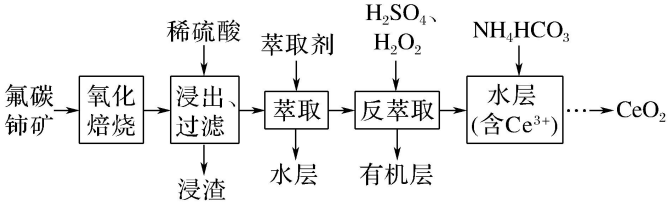
(1)“预处理”时主要反应的化学方程式为_____；

(2)“分银”时 AgCl 与 Na_2SO_3 反应生成$[Ag(SO_3)_2]^{3-}$的离子方程式为_____；

(3)“分银渣”的主要成分为 $PbSO_4$、$BaSO_4$、_____(填化学式)。

(4)“还原”步骤中 HCHO 的氧化产物为 HCOOH，该流程中可循环使用的物质为_____。

5．二氧化铈(CeO_2)是一种重要的稀土化合物。以氟碳铈矿(主要含 $CeCO_3F$)为原料制备 CeO_2 的一种工艺流程如图：



已知：i.Ce^{4+}能与 F^-结合成$[CeF_x]^{(4-x)+}$，也能与 SO_4^{2-}结合成$[CeSO_4]^{2+}$；

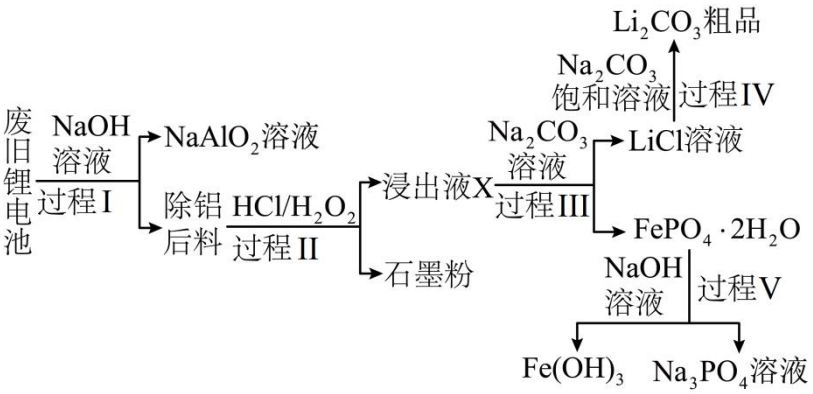
ii.在硫酸体系中 Ce^{4+}能被萃取剂$[(HA)_2]$萃取，而 Ce^{3+}不能

iii.常温下，$Ce_2(CO_3)_3$ 饱和溶液浓度为 $1.0×10^{-6}$ mol/L，请回答下列问题：

(1)“萃取”时存在反应：$Ce^{4+}+n(HA)_2 \rightleftharpoons Ce(H_{2n-4}A_{2n})+4H^+$，萃取后水层中还存在的含铈元素的微粒主要是_____，经处理后可循环使用。

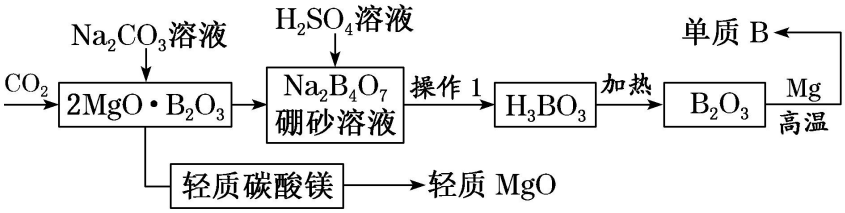
(2)“反萃取”中加 H_2O_2 的主要反应离子方程式为_____，在“反萃取”后所得水层中加入 1.0 mol/L 的 NH_4HCO_3 溶液，产生 $Ce_2(CO_3)_3$ 沉淀，当 Ce^{3+}沉淀完全时$[c(Ce^{3+})=1×10^{-5}$ mol/L]，溶液中 $c(CO_3^{2-})$约为_____。

6．2019 年诺贝尔化学奖颁给了为锂电池发展作出突出贡献的三位科学家。某废旧锂电池正极主要由 $LiFePO_4$、铝箔、炭黑等组成，Fe、Li、P 具有极高的回收价值，具体流程如图。



过程Ⅱ中 HCl/H_2O_2 的作用是_____。

7．工业利用硼矿石($2MgO\cdot B_2O_3$)制备单质 B 并联产轻质 MgO 的流程如下：

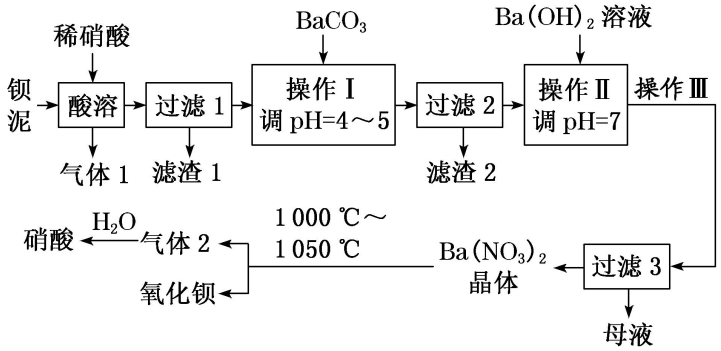


硼酸(H_3BO_3)的溶解度

温度/℃	0	10	20	30	40	80
溶解度/g	2.77	3.65	4.87	6.77	8.90	23.54

操作 1 是_____，整个流程中可循环利用的物质是_____。

8．氧化钡广泛用于玻璃、陶瓷工业，是制取过氧化钡和钡盐的原料。一种利用钡泥[含 $BaCO_3$、$BaSO_3$、$Ba(FeO_2)_2$ 等]制取氧化钡的绿色工艺流程如下：



回答下列问题：

(1)酸溶时，$Ba(FeO_2)_2$ 与稀硝酸反应的化学方程式为_____。

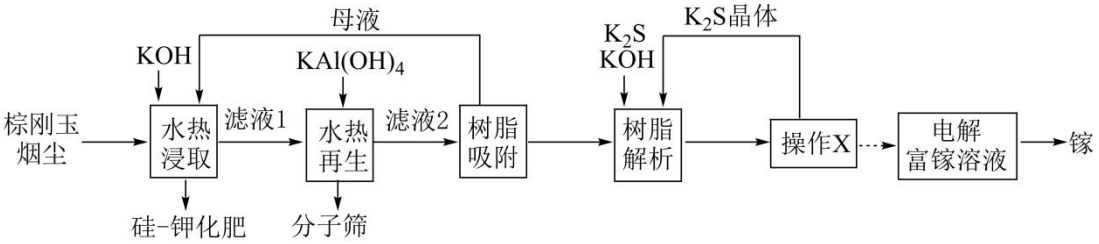
(2)产生滤渣 1 反应的离子方程式是_____。

(3)操作Ⅰ调 pH＝4～5 的目的是_____。

(4)过滤 3 所得母液应返回_____工序循环使用。

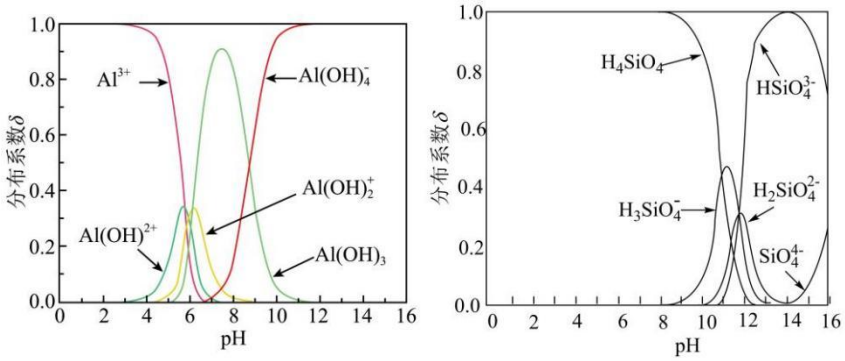
热点题空 8　工艺流程题中的图像分析

1．稀散金属镓(Ga，IIIA 族)是重要的战略资源。以棕刚玉烟尘(主要成分为 SiO_2、$KAlSi_3O_8$、Al_2O_3、Al_2SiO_5 和少量 Ga)为原料制备金属镓的工艺流程图如下：

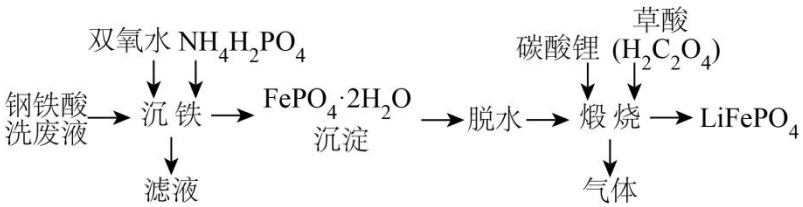


（1）滤液 1 的 pH 为 14.78，依据 Al(III)和 Si(IV)的分布系数图，铝元素在溶液中的主要存在形式为_____(填化学式)

SiO_2 与碱反应的离子方程式为_____、_____。

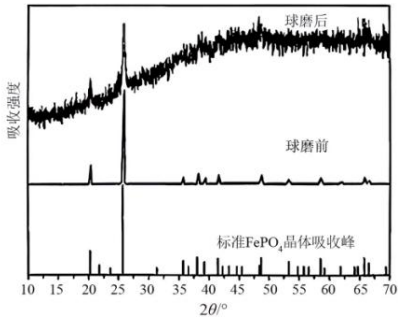


2．磷酸亚铁锂（$LiFePO_4$）为锂离子电池的电极材料。工业上可用钢铁酸洗废液（主要成分为 Fe^{2+}、H^+、Cl^-）作原料制备磷酸亚铁锂，其流程如图所示。



已知：Fe^{3+}开始沉淀为 $Fe(OH)_3$ 的 pH 为 2.6。

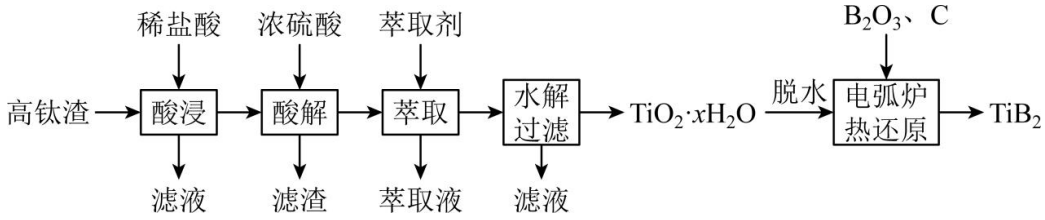
（1）“煅烧”前需要对 $FePO_4·2H_2O$ 进行脱水处理得到 $FePO_4$ 晶体，并在滚筒式球磨（粉碎）机中进行球磨处理，球磨前后的 X 射线衍射如图所示：



①试分析球磨前后 X 射线吸收峰变化的原因：_____。

②写出隔绝空气条件下“煅烧”过程中发生反应的化学方程式：_____。

3. 硼化钛(结构式为B=Ti=B)常用于制备导电陶瓷材料和PTC材料。工业上以高钛渣(主要成分为TiO_2、SiO_2、Al_2O_3和CaO，另有少量MgO、Fe_2O_3)为原料制取TiB_2的流程如下：



已知：①电弧炉是由石墨电极和石墨坩埚组成的高温加热装置；

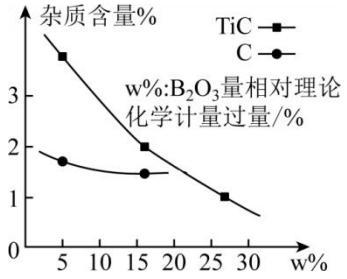
②B_2O_3高温下蒸气压大、易挥发；

③TiO_2可溶于热的浓硫酸形成TiO^{2+}。

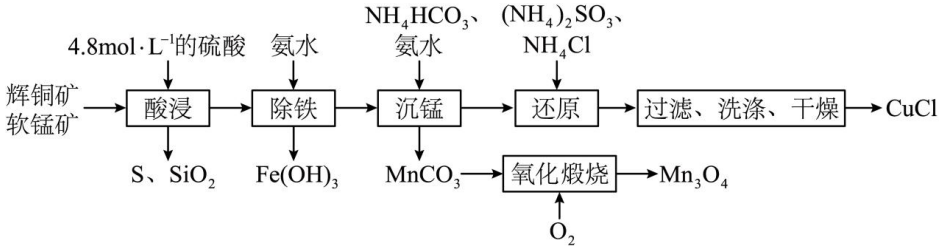
(1)“热还原”中发生反应的化学方程式为_____，

B_2O_3的实际用量超过了理论化学计量所要求的用量，原因是_____。

仅增大配料中B_2O_3的用量，产品中的杂质含量变化如图所示。杂质TiC含量随w%增大而降低的原因是_____(用化学方程式解释)。



4. 以辉铜矿(主要成分Cu_2S，以及少量Fe_2O_3等)和软锰矿(主要成分MnO_2，及少量SiO_2、Fe_2O_3等)为原料制备电池用Mn_3O_4和CuCl的工艺流程如下：



已知：$CuCl(s)+Cl^-(aq) \rightleftharpoons CuCl_2^-(aq)$。

(1)“还原”时，发生反应的离子方程式为_____，该步骤中Cu^+的沉淀率与加入的NH_4Cl的量的关系如图1所示，A点处$c(Cu^+)$_____(填“大于”“小于”或“等于”)C点处$c(Cu^+)$，其原因是_____。

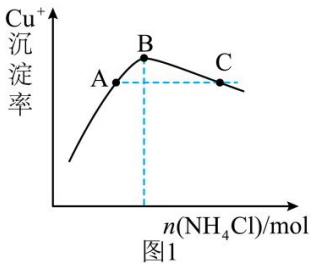


图1

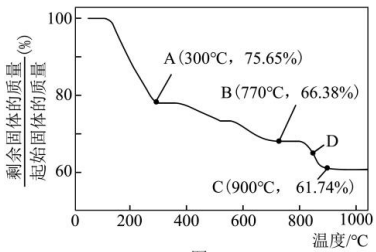


图2

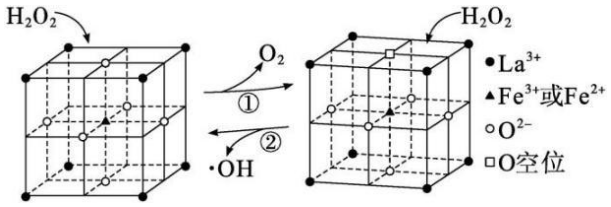
(2)“氧化煅烧”时，反应的化学方程式为_____，

$MnCO_3$在空气中加热时，其固体残留率随温度的变化如图2所示，“氧化煅烧”时应控制温度约为_____。

图中300℃时，剩余固体中n(Mn)：n(O)为_____。

热点题空 9　晶体

1.(2024·山东临沂二模)H_2O_2 在催化剂中 Fe 元素的作用下可以产生具有极强氧化活性的·OH,其在固态催化剂表面转化过程如图所示。下列说法正确的是



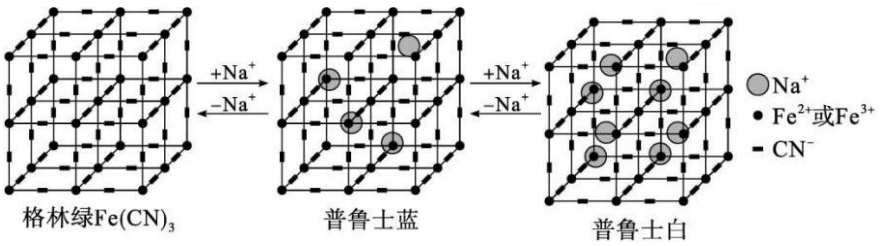
A.过程①中每转移 1 mol 电子,晶胞中产生 1 mol O 空位

B.过程②中 H_2O_2 在 O 空位产生·OH

C.催化过程中 La^{3+}的配位数不变

D.相同条件下,$LaFeO_{2.8}$ 比 $LaFeO_{2.6}$ 催化效果好

2.(2024·辽宁锦州质检)某水性钠离子电池电极材料由 Na^+、Fe^{2+}、Fe^{3+}、CN^-组成,Na^+嵌入和嵌出立方晶胞体心过程中,Fe^{2+}与 Fe^{3+}含量发生变化,其过程如图所示。下列说法错误的是



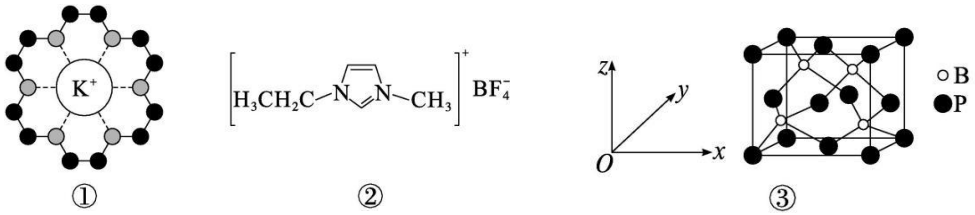
A.基态铁原子价层电子排布式为 $3d^64s^2$

B.格林绿晶体中 Fe^{3+}周围等距且最近的 Fe^{3+}数为 6

C.普鲁士蓝中 Fe^{2+}与 Fe^{3+}个数比为 1∶2

D.普鲁士白的化学式为 $NaFe(CN)_3$

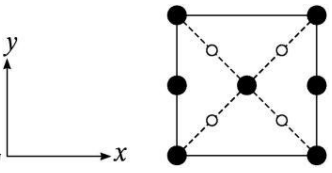
3.(2024·甘肃张掖第三次诊断)下列有关物质结构的说法正确的是



A.图①中 18-冠-6 通过离子键与 K^+作用,体现了超分子“分子识别”的特征

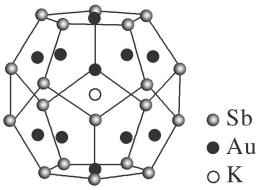
B.图②物质相较 $NaBF_4$ 摩尔质量更大,具有更高的熔、沸点

C.图③晶体磷化硼晶胞沿 z 轴方向上的投影图为



D.图③晶胞参数为 d nm,则晶体的密度为 $\frac{168}{N_A\times d^3}\times10^{21}$ $g\cdot cm^{-3}$

4．(2024·贵州卷)我国科学家首次合成了化合物[K(2，2，2-crypt)][K@$Au_{12}Sb_{20}$]。其阴离子[K@$Au_{12}Sb_{20}$]$^{5-}$为全金属富勒烯(结构如图)，具有与富勒烯 C_{60} 相似的高对称性。下列说法错误的是



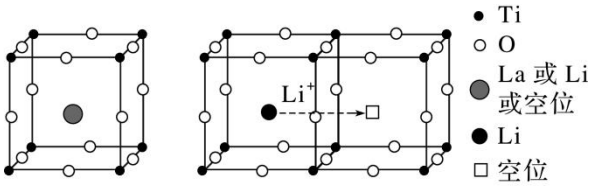
A．富勒烯 C_{60} 是分子晶体

B．图示中的 K^+ 位于 Au 形成的二十面体笼内

C．全金属富勒烯和富勒烯 C_{60} 互为同素异形体

D．锑(Sb)位于第五周期第VA 族，则其基态原子价层电子排布式是 $5s^25p^3$

5.(2024·安徽)研究人员制备了一种具有锂离子通道的导电氧化物($Li_xLa_yTiO_3$)，其立方晶胞和导电时 Li^+ 迁移过程如图所示。已知该氧化物中 Ti 为+4 价，La 为+3 价。下列说法错误的是

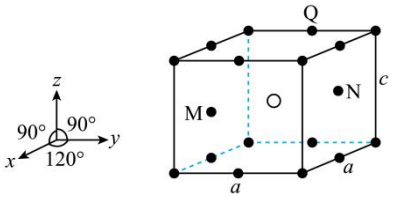


立方晶胞 ($Li_xLa_yTiO_3$)　　Li^+ 迁移过程示意图

A.导电时，Ti 和 La 的价态不变　　B.若 $x=\frac{1}{3}$，Li^+与空位的数目相等

C.与体心最邻近的 O 原子数为 12　　D.导电时，空位移动方向与电流方向相反

6.（2025·河北）$SmCo_k(k>1)$是一种具有优异磁性能的稀土永磁材料，在航空航天等领域中获得重要应用。$SmCo_k$ 的六方晶胞示意图如下，晶胞参数 $a=500pm$、$c=400pm$，M、N 原子的分数坐标分别为$\left(\frac{5}{6},\frac{1}{6},\frac{1}{2}\right)$、$\left(\frac{1}{6},\frac{5}{6},\frac{1}{2}\right)$。设 N_A 是阿伏加德罗常数的值。

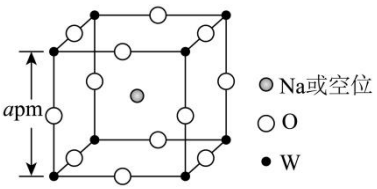


下列说法错误的是

A．该物质的化学式为 $SmCo_5$　　B．体心原子的分数坐标为$\left(\frac{1}{2},\frac{1}{2},\frac{1}{2}\right)$

C．晶体的密度为$\frac{890\sqrt{3}}{3N_A\times10^{-22}}g\cdot cm^{-3}$　　D．原子 Q 到体心的距离为 500pm

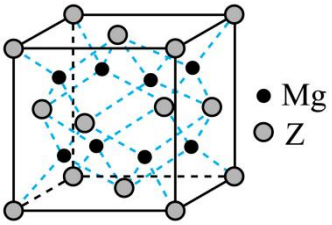
7.（2025·黑吉辽蒙卷）Na_xWO_3 晶体因 x 变化形成空位而导致颜色各异，当 $0.44\le x\le0.95$ 时，其立方晶胞结构如图。设 N_A 为阿伏加德罗常数的值，下列说法错误的是



A．与 W 最近且等距的 O 有 6 个　　B．x 增大时，W 的平均价态升高

C．密度为$\frac{243.5\times10^{30}}{a^3\cdot N_A}g\cdot cm^{-3}$时，$x=0.5$　　D．空位数不同，吸收的可见光波长不同

8.（2025·广西）Mg－Z 型晶态半导体材料由 Mg 与碳族元素(Z)形成，其立方晶胞结构如图。已知：晶胞参数 $a(\mathrm{Mg-Si})=634\ \mathrm{pm}, a(\mathrm{Mg-Ge})=639\ \mathrm{pm}$。下列说法正确的是



A．与 Z 紧邻的 Mg 有 4 个

B．晶胞内 Mg 之间最近的距离为 $\frac{\sqrt{2}}{2}a$

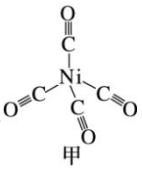
C．晶胞密度：$\rho(\mathrm{Mg-Ge})>\rho(\mathrm{Mg-Si})$

D．若 Mg－Sn 晶胞顶点 Sn 替换为 Ge，则 $\frac{n(\mathrm{Sn})}{n(\mathrm{Ge})}=\frac{1}{3}$

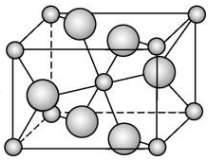
9.(2024·新课标)$Ni(CO)_4$(四羰合镍，沸点 43 ℃)可用于制备高纯镍，也是有机化合物羰基化反应的催化剂。回答下列问题：

(1)镍的晶胞结构类型与铜的相同，晶胞体积为 a^3，镍原子半径为_____。

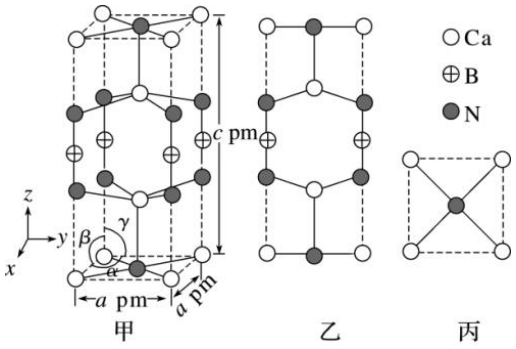
(2)$Ni(CO)_4$ 结构如图甲所示，其中含有σ键的数目为_____，$Ni(CO)_4$ 晶体的类型为_____。



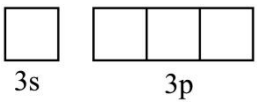
10.（2024·黑吉辽）负载在 TiO_2 上的 RuO_2 催化活性高，稳定性强，TiO_2 和 RuO_2 的晶体结构均可用如图表示，二者晶胞体积近似相等，RuO_2 与 TiO_2 的密度比为 1.66，则 Ru 的相对原子质量为_____(精确至 1)。



11.（2024·甘肃）某含钙化合物的晶胞结构如图甲所示，沿 x 轴方向的投影为图乙，晶胞底面显示为图丙，晶胞参数 $a\neq c$，$\alpha=\beta=\gamma=90°$。图丙中 Ca 与 N 的距离为_____ pm；化合物的化学式是_____，其摩尔质量为 $M\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$，阿伏加德罗常数的值是 N_A，则晶体的密度为 $\mathrm{g\cdot cm^{-3}}$(列出计算表达式)。



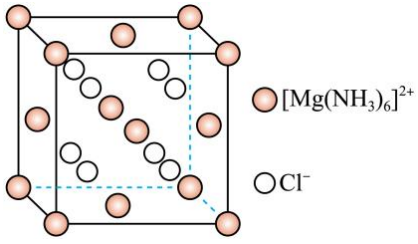
12.（2025·北京）通过 $MgCl_2$ 和 $[Mg(NH_3)_6]Cl_2$ 的相互转化可实现 NH_3 的高效存储和利用。

(1)将 Mg 的基态原子最外层轨道表示式补充完整： 

。

(2) NH_3 分子中 H—N—H 键角小于 109°28′，从结构角度解释原因：_____。

(3)$[Mg(NH_3)_6]Cl_2$ 的晶胞是立方体结构，边长为 $a\ nm$，结构示意图如下。



①$[Mg(NH_3)_6]Cl_2$ 的配体中，配位原子是_____。

②已知 $[Mg(NH_3)_6]Cl_2$ 的摩尔质量为 $\mathrm{Mg\cdot mol^{-1}}$，阿伏加德罗常数为 N_A，该晶体的密度为_____ $\mathrm{g\cdot cm^{-3}}$。($1nm=10^{-7}cm$)

13．（2025·山东）Fe单质及其化合物应用广泛。回答下列问题：

(1)在元素周期表中，Fe位于第_____周期_____族。基态Fe原子与基态Fe^{3+}离子未成对电子数之比为_____。

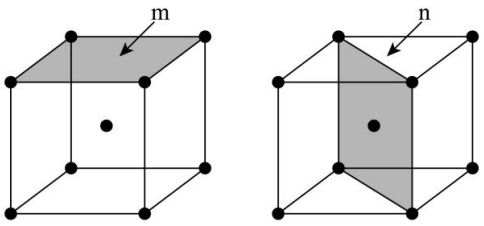
(2)尿素分子(H_2NCONH_2)与Fe^{3+}形成配离子的硝酸盐$[Fe(H_2NCONH_2)_6](NO_3)_3$俗称尿素铁，既可作铁肥，又可作缓释氮肥。

①元素C、N、O中，第一电离能最大的是_____，电负性最大的是_____。

②尿素分子中，C原子采取的轨道杂化方式为_____。

③八面体配离子$[Fe(H_2NCONH_2)_6]^{3+}$中Fe^{3+}的配位数为6，碳氮键的键长均相等，则与Fe^{3+}配位的原子是(填元素符号)。

(3)α－Fe可用作合成氨催化剂、其体心立方晶胞如图所示(晶胞边长为apm)。



①α－Fe晶胞中Fe原子的半径为_____pm。

②研究发现，α－Fe晶胞中阴影所示m，n两个截面的催化活性不同，截面单位面积含有Fe原子个数越多，催化活性越低。m，n截面中，催化活性较低的是_____，该截面单位面积含有的Fe原子为_____个·pm^{-2}。

14．（2025·浙江）铜在自然界大多以硫化物形式成矿。请回答：

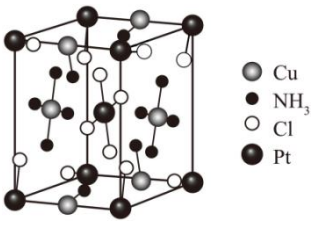
(1)有关铜和硫的说法正确的是_____。

A．基态硫原子有7对成对电子

B．铜焰色试验呈绿色，与铜原子核外电子跃迁释放能量有关

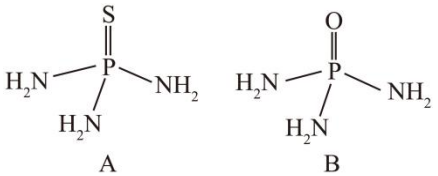
C．基态铜原子失去2个电子，3d轨道形成全充满结构

D．配位键强度：$[Cu(NH_3)]^{2+} > [Cu(NH_3)]^{+}$



(2)一种铜化合物的晶胞如图，写出由配离子表示的该化合物的化学式_____。

(3)化合物A[化学式：$(H_2N)_3PS$]和B[化学式：$(H_2N)_3PO$]具有相似的结构，如图。



化合物B给出H^+趋势相对更大，请从结构角度分析原因_____。

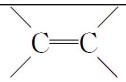
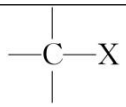
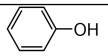
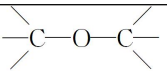
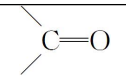
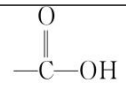
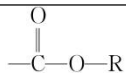
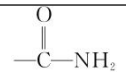
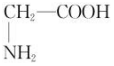
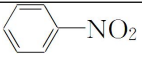
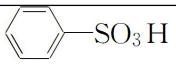
专题四 有机推断

热点题空 1　官能团的辨认与书写

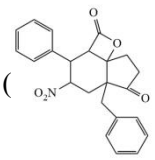
【高考必备知识】

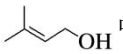
1．官能团：决定有机化合物特殊性质的原子或原子团

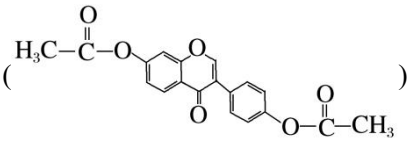
2．常见的官能团结构、名称和代表物

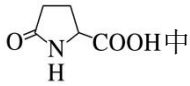
有机化合物类别		官能团名称	官能团结构	代表物名称	代表物结构简式
烃	烷烃	—	—	甲烷	CH_4
	烯烃	碳碳双键		乙烯	乙烯 $CH_2{=}CH_2$
	炔烃	碳碳三键	—C≡C—	乙炔	CH≡CH
	芳香烃	—	—	苯	
烃的衍生物	卤代烃	碳卤键		溴乙烷	CH_3CH_2Br
	醇	羟基	—OH	乙醇	CH_3CH_2OH
	酚	羟基	—OH	苯酚	
	醚	醚键		乙醚	$CH_3CH_2OCH_2CH_3$
	醛	醛基	—CHO	乙醛	CH_3CHO
	酮	酮羰基		丙酮	CH_3COCH_3
	羧酸	羧基		乙酸	CH_3COOH
	酯	酯基		乙酸乙酯	$CH_3COOCH_2CH_3$
	胺	氨基	—NH_2	甲胺	CH_3NH_2
	酰胺	酰胺基		乙酰胺	CH_3CONH_2
	氨基酸	氨基、羧基	—NH_2、—COOH	甘氨酸	
	硝基化合物	硝基	—NO_2	硝基苯	
	磺酸化合物	磺酸基	—SO_3H	苯磺酸	
	腈	氰基	—C≡N	丙腈	CH_3CH_2CN

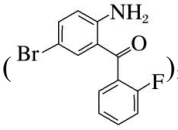
【题组训练】

1．()中含氧官能团的名称是_____

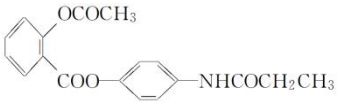
 中所含官能团名称为羟基和_____

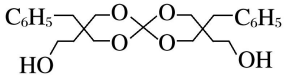
2．写出()中任意两种含氧官能团的名称_____

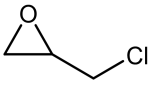
 中所含官能团名称：_____

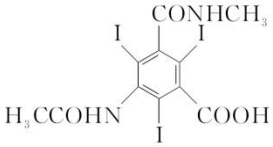
3．()具有的官能团名称是_____

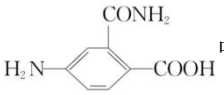
4．( )中所含官能团的名称为_____

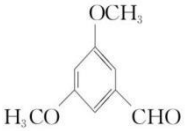
5．化合物  的官能团名称是_____

6．  中含氧官能团的名称是_____

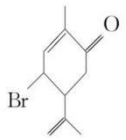
7．  中官能团的名称为_____

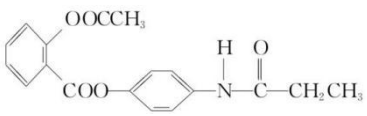
8． )中的官能团名称为_____

9．  中官能团是_____、_____、_____(填名称)

 中官能团的名称为_____、_____

10.写出下列各物质中所有官能团的名称。

(1)$CH_2OH(CHOH)_4CHO$：_____ (2)  ：_____

(3) ：_____ (4)  ：_____

热点题空 2　有机化合物的命名

【高考必备知识】

1．烷烃的命名

(1)习惯命名法——只能适用于构造比较简单的烷烃

①根据烷烃分子里所含碳原子数目来命名，碳原子数加“烷”字，就是简单的烷烃的命名，称为“某烷”

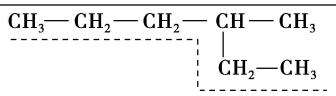
②碳原子数在 10 以内的，从 1 到 10 依次用**甲、乙、丙、丁、戊、己、庚、辛、壬、癸**来表示；碳原子数在十以上的用汉字数字表示；**如：**C_3H_8 叫丙烷，$C_{17}H_{36}$ 叫十七烷

③当碳原子数相同时，存在同分异构体时，在(碳原子数)烷名前面加正、异、新等，**如：**C_5H_{12} 叫戊烷，C_5H_{12} 的同分异构体有 3 种，用习惯命名法命名分别为：正戊烷( )、异戊烷( )、新戊烷( )

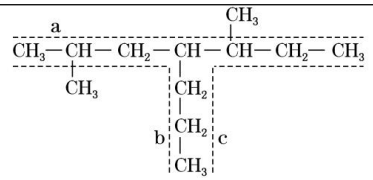
(2)系统命名法

①选主链，称“某烷”：最长、最多定主链　**(选主链的原则：优先考虑长→等长时考虑支链最多)**

a．选定分子中最长的碳链作为主链，并按照主链上碳原子的数目称为“某烷”，支链作为取代基。**如：**

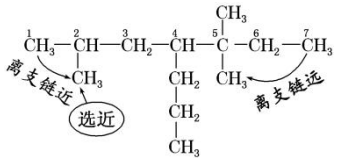
	**应选含 6 个碳原子的碳链为主链，如虚线所示，称为“己烷”**

b．如果在一个分子中有多条相同碳原子数的最长碳链，则选择含支链较多的那条碳链为主链。**如：**

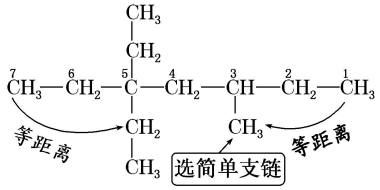
	**主链最长(7 个碳)时，选主链有 a、b、c 三种方式，其中：a 有 3 个支链、b 有 2 个支链、c 有 2 个支链，所以方式 a 正确**

②编号位，定支链：(编号位的原则：首先要考虑“近”；同“近”，考虑“简”；同“近”，考虑“小”)

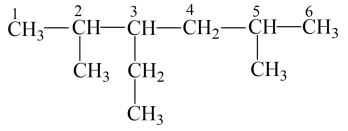
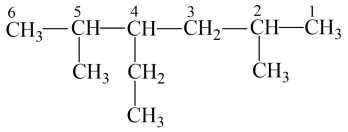
a．选主链中离支链最近的一端开始编号，用 1、2、3 等数字给主链上的各个碳原子依次编号定位，使支链获得最小的编号，以确定支链的位置。**即：首先要考虑“近”，如：**



b. 若有两个不同的支链，且分别处于距主链两端**同近**的位置，则从较简单的支链一端开始编号。**即：同“近”，考虑“简”。如：**



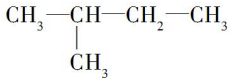
c．若有两个相同的支链，且分别处于距主链两端同近的位置，而中间还有其它支链，从主链的两个方向编号，可得两种不同的编号系列，两系列中各支链位次之和最小者即为正确的编号。**即：同“近”、同“简”时考虑“小”。(或从离第三个支链最近的一端开始编号)。如：**

方式一：  方式二： 	**方式一的位号和为 2＋3＋5＝10** **方式二的位号和为 2＋4＋5＝11，10<11** **所以方式一正确**

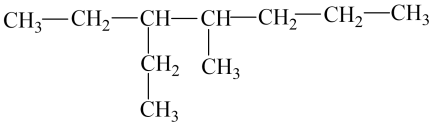
③写名称：按“取代基位次－取代基名称－母体名称”的顺序书写

格式：位号－支链名－位号－支链名某烷

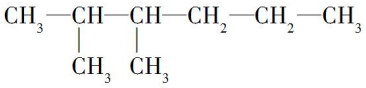
a．**取代基，写在前，标位置，短线连：**将支链名称写在主链名称的前面，并用阿拉伯数字注明支链位置，数字与支链名称之间用一短线隔开

如：  命名为：2－甲基丁烷

b．**不同基，简到繁：**如果主链上有几个不同的支链，把简单的写在前面，把复杂的写在后面

如：  命名为：4－甲基－3－乙基庚烷

c．**相同基，合并算：**如果主链上有相同的支链，可以将支链合并起来，用“二”、“三”等数字表示支链的个数。两个表示支链位置的阿拉伯数字之间需用“，”隔开

如：  命名为 2，3－二甲基己烷

【微点拨】

①表示取代基位号的阿拉伯数字“2，3，4.....”等数字相邻时，必须用“，”相隔，不能用“、”

②名称中阿拉伯数字与汉字相邻时，必须用短线“—”隔开

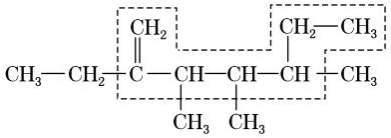
③若有多种取代基，不管其位号大小如何，都必须把简单的写在前面，复杂的写在后面

2．烯烃和炔烃的命名

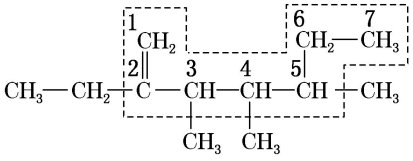
(1)命名方法：烯烃和炔烃的命名与烷烃的命名相似，即遵循最长、最多、最近、最小、最简原则。但**不同点是主链必须含有双键或三键，编号时起始点必须离双键或三键最近**

(2)命名步骤

①选主链，称某烯(某炔)：将含有双键或三键的最长碳链作为主链，并按主链中所含碳原子数称为“某烯”或“某炔”**(如：下面虚线框内为主链)**



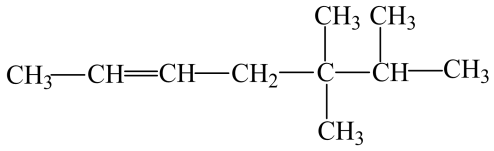
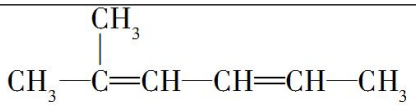
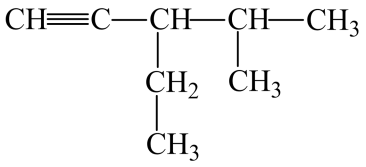
②编号位，定支链：从距离双键或三键最近的一端给主链上的碳原子依次编号，使双键或三键碳原子的编号为最小，以确定双键(三键)、支链的位次



③按规则，写名称：取代基位次－取代基名称－双键位次－某烯(炔)

a．用阿拉伯数字标明双键或三键的位置(只需标明双键或三键碳原子编号较小的数字)

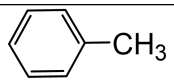
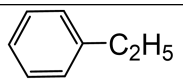
b．若为多烯烃(炔烃)，则用大写数字“二、三……”在烯或炔的名称前表示双键或三键的个数

	5，5，6－三甲基－2－庚烯
	2－甲基－2，4－己二烯
	4－甲基－3－乙基－1－戊炔

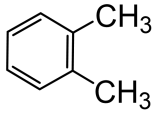
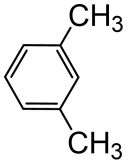
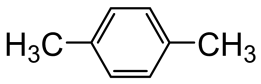
3．苯的同系物的命名

(1)习惯命名法

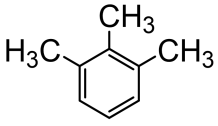
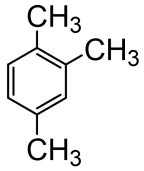
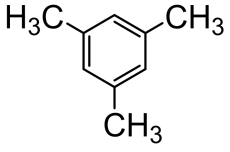
①苯的一元取代物的命名：苯分子中的一个氢原子被烷基取代后，命名时以苯作母体，苯环上的烷基为侧链进行命名。先读侧链，后读苯环，称为：称为“某苯”

	
甲苯	乙苯

②苯的二元取代物的命名：当有两个取代基时，取代基在苯环上有邻、间、对三种位置，所以取代基的位置可用“**邻、间、对**”来表示

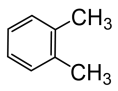
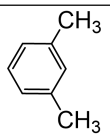
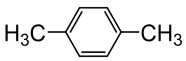
		
邻二甲苯	间二甲苯	对二甲苯

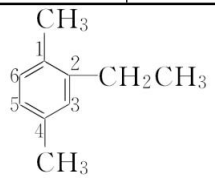
③苯的三元取代物的命名：若三个氢原子被甲基取代叫三甲苯，三甲苯通常用“**连、偏、均**”来表示

		
连三甲苯	偏三甲苯	均三甲苯

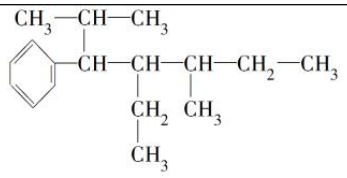
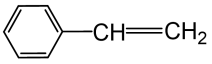
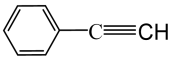
(2)系统命名法

①当苯环上有两个或两个以上的取代基时，可将苯环上的 6 个碳原子编号，以某个最简单的取代基所在的碳原子的位置编为 1 号，并沿使取代基位次和较小的方向进行——按顺时针或逆时针编号

以“二甲苯”为例	若将苯环上的6个碳原子编号，以某个甲基所在的碳原子的位置为1号，选取最小位次号给另一个甲基编号		
			
名称	1，2－二甲苯	1，3－二甲苯	1，4－二甲苯

	**编序号**	以最简取代基苯环上碳为1号，且使取代基序号和最小
	写名称	1，4－二甲基－2－乙基苯

②若苯环侧链较复杂时，或苯环上含有不饱和烃基时，命名时一般把苯环作取代基，将较长的碳链作主链进行命名

		
2,5－二甲基－4－乙基－3－苯基庚烷	苯乙烯	苯乙炔

4．醇的系统命名法

(1)选主链，称某醇：选择含有羟基在内的最长碳链作为主链，按主链所含有的碳原子数成为“某醇”

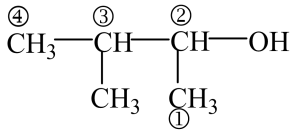
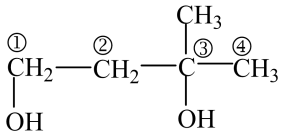
(2)编号位，定支链：把支链作为取代基，从离羟基最近的一端开始编号

(3)标位置，写名称：取代基位次－取代基名称－羟基位次－某醇

【微点拨】

①用系统命名法命名醇，确定最长碳链时不能把—OH看作链端，只能看作取代基，但选择的最长碳链必须连有—OH

②多元醇的命名时，要选取含有尽可能多的带羟基的碳链作为主链，羟基的数目写在“醇”字的前面，用“二、三、四”等数字表示

	3－甲基－2－丁醇
	3－甲基－1，3－丁二醇

5．醛和羧酸的系统命名法

(1)选主链，称某醛(或某酸)：选择含有醛基(或羧基)在内的最长碳链作为主链，称为“某醛”或“某酸”

(2)编号位，定支链：主链编号时要从醛基(或羧基)上的碳原子开始

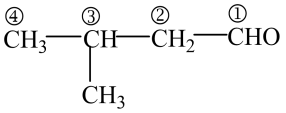
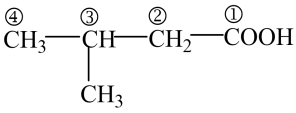
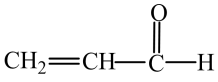
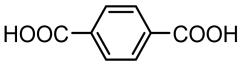
(3)写名称：取代基位次－取代基名称－某醛(或某酸)

①名称中不必对醛基(或羧基)定位，因羧基必然在其主链的边端

②若分子中含有双键(或三键)，则选含有醛基(或羧基)和双键(或三键)的最长碳链作为主链，根据主链上的碳原子数目称“某烯(炔)醛”、“某烯(炔)酸”

③芳香族羧酸(或醛)，若芳香环上连有取代基，则从羧基(醛基)所连的碳原子开始编号，使取代基的位次最小

④二元羧酸(或醛)命名时，选择含有两个羧基(或醛基)的最长碳链作为主链，然后根据主链碳原子的数目称为某二酸(醛)

	2－甲基丁醛		3－甲基丁酸
	丙烯醛		对苯二甲酸 1，4－苯二甲酸

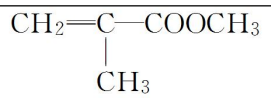
6．酯的命名

合成酯时需要羧酸和醇发生酯化反应，命名酯时“先读酸的名称，再读醇的名称，后将‘醇’改‘酯’即可”

$CH_3COOCH_2CH_3$	乙酸乙酯	$(CH_3O)_2CO$	碳酸二甲酯
$HCOOCH_2CH_2CH_3$	甲酸正丙酯	$HCOOC_6H_5$	甲酸苯酚酯
$HCOOC_2H_5$	甲酸乙酯	CH_3ONO_2	硝酸甲酯

7．多官能团物质的命名

命名含有多个不同官能团化合物的关键在于要选择优先的官能团作为母体。官能团作为母体的优先顺序为(以“>”表示优先)：**羧酸＞酯＞醛＞酮＞醇＞烯>卤原子>硝基（后二者一定只做后缀！）**

	2－甲基丙烯酸甲酯
	邻羟基苯甲酸或 2－羟基苯甲酸
$Cl－CH_2COOH$	氯乙酸

【微点拨】

(1)含官能团的有机物命名与烷烃命名的比较

	无官能团	**有官能团**
类别	烷烃	烯烃、炔烃、卤代烃、烃的含氧衍生物
主链条件	碳链最长，同碳数支链最多	含官能团的最长碳链
编号原则	取代基最近(小)	官能团最近、兼顾取代基尽量近
名称写法	支位－支名－母名。支名同，要合并。 支名异，简在前	支位－支名－官位置－母名
符号使用	阿拉伯数字与阿拉伯数字间用“，”，阿拉伯数字与中文数字间用“-”，文字间不用任何符号	

(2)有机物系统命名中常见的错误

①主链选取不当(不包含官能团，不是主链最长、支链最多)

②编号错(官能团的位次不是最小，取代基位次之和不是最小)

③支链主次不分(不是先简后繁)

④“一”、“，”忘记或用错

(3)系统命名法中四种字的含义

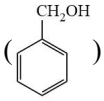
①烯、炔、醛、酮、酸、酯……指官能团

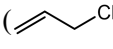
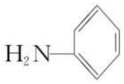
②二、三、四……指相同取代基或官能团的个数

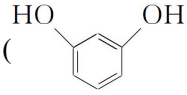
③1，2，3……指官能团或取代基的位置

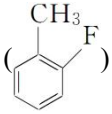
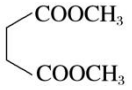
④甲、乙、丙、丁……指主链碳原子个数分别为 1，2，3，4……

【题组训练】

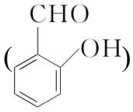
1．()的化学名称为_____；

2．()的化学名称是_____；  的化学名称为_____

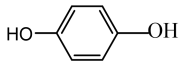
3．()的化学名称为_____；

4．()的化学名称是_____；  的化学名称为_____

5．($ClHC{=}CCl_2$)的化学名称为_____；

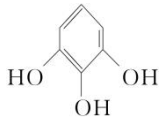
6．()的化学名称为_____；

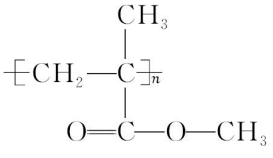
7．$HOC(CH_3)_3$ 的系统命名法的名称为_____；

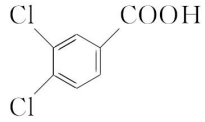
8．  的名称是_____；

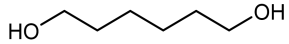
9． 的名称是_____；

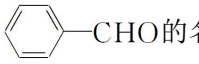
10． 的名称是_____；

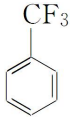
11．  的名称是_____；

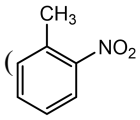
12．  的名称是_____；

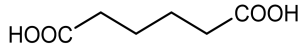
13．有机物()的化学名称为_____；

14．  的名称是_____；

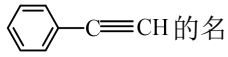
15．  的名称是_____；

16．  的名称是_____；

17．( 的名称是_____；

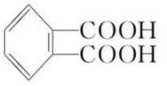
18．  的名称是_____；

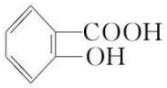
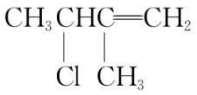
19．$HOCH_2CH_2CHO$ 的名称是_____；

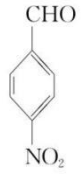
20．  的名称是_____；

21.写出下列有机物的名称。

(1) ：_____ (2) $CH_2{=}CHCH_2OH$ ：_____

(3)OHC—CHO：_____(4)  ：_____

(5)  ：_____(6)  ：_____

(7)  ：_____

热点题空 3　有机反应类型及有机方程式书写

【高考必备知识】

1．常见有机反应类型与有机物类别的关系

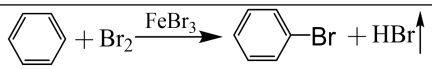
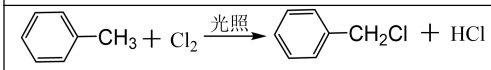
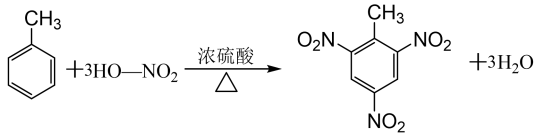
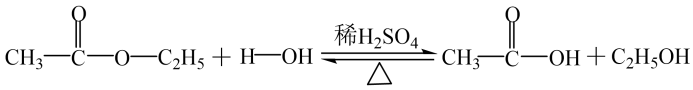
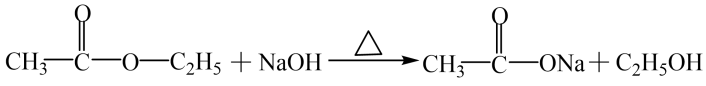
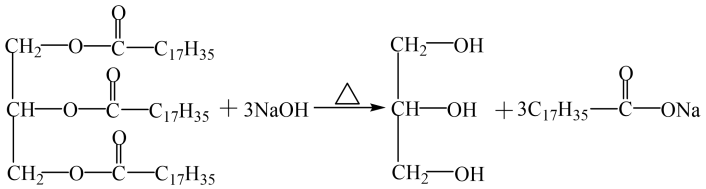
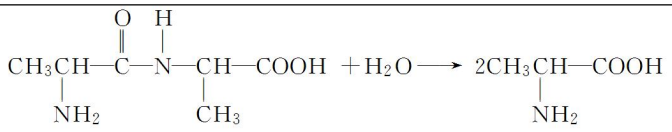
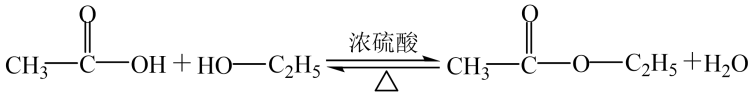
(1)取代反应

①定义：有机物分子里的某些原子或原子团被其他原子或原子团所代替的反应叫取代反应

②特点：上一下一，有进有出，饱和度不变，反应中一般有副产物生成，类似无机反应中的复分解反应

③取代反应包括：卤代、硝化、磺化、水解、酯化等反应类型

取代反应类型	有机物类别	实例
卤代反应	饱和烃	$CH_3CH_3+Cl_2 \xrightarrow{光照} CH_3CH_2Cl+HCl$　(只写一元取代)
	烯烃	$CH_2{=}CH{-}CH_3+Cl_2 \xrightarrow{500°C\sim600°C} CH_2{=}CH{-}CH_2Cl+HCl$

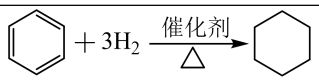
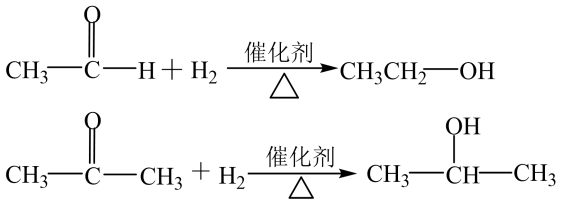
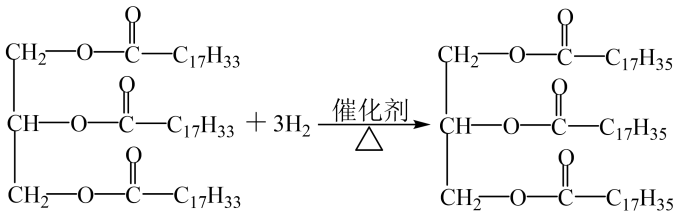
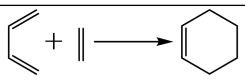
	苯和苯的同系物	
		
硝化反应	苯和苯的同系物	
		
磺化反应	苯和苯的同系物	
水解反应	卤代烃	$CH_3CH_2—Br+NaOH \xrightarrow[\Delta]{水} CH_3CH_2—OH+NaBr$
	酯	
		
	油脂	
	二糖及多糖	$C_{12}H_{22}O_{11}+H_2O \xrightarrow{酸或酶} C_6H_{12}O_6+C_6H_{12}O_6$（蔗糖；葡萄糖　果糖）
		$C_{12}H_{22}O_{11}+H_2O \xrightarrow{酸或酶} 2C_6H_{12}O_6$（麦芽糖；葡萄糖）
		$(C_6H_{10}O_5)_n(淀粉)+nH_2O \xrightarrow{酸或酶} nC_6H_{12}O_6(葡萄糖)$
		$(C_6H_{10}O_5)_n(纤维素)+nH_2O \xrightarrow[\Delta]{浓硫酸} nC_6H_{12}O_6(葡萄糖)$
	多肽、蛋白质	
酯化反应	醇、羧酸	
醇与浓氢卤酸的取代		$CH_3CH_2OH+HBr \xrightarrow[\Delta]{浓硫酸} CH_3CH_2Br+H_2O$

(2)加成反应

①定义：有机物分子里不饱和的碳原子跟其他原子或原子团直接结合生成新物质的反应

②特点：“断一，加二，都进来，不饱和度降低”；“断一”是指双键中的一个不稳定键断裂；“加二”是指加上两个其他原子或原子团，一定分别加在两个不饱和碳原子上，此反应类似无机反应中的化合反应，理论上原子利用率为 100%

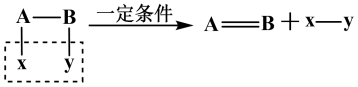
③能发生加成反应的物质有：烯烃(碳碳双键)、炔烃(碳碳三键)、苯环、醛、酮、腈等

有机物类别	实例
烯烃(与 X_2、H_2、HX、H_2O)的加成	$CH_2{=}CH_2+Br_2\longrightarrow CH_2Br{-}CH_2Br$
	$CH_2{=}CH_2+H_2O\xrightarrow[\text{加热、加压}]{\text{催化剂}}CH_3CH_2OH$
	$CH_2{=}CH_2+HCl\xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}}CH_3CH_2Cl$
	$CH_2{=}CH_2+H_2\xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}}CH_3{-}CH_3$
炔烃(与 X_2、H_2、HX、H_2O)的加成	$HC{\equiv}CH+H_2\xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}}CH_2{=}CH_2$，$CH_2{=}CH_2+H_2\xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}}CH_3{-}CH_3$
	$HC{\equiv}CH+Br_2\longrightarrow CHBr{=}CHBr$，$CHBr{=}CHBr+Br_2\longrightarrow CHBr_2{-}CHBr_2$
	$HC{\equiv}CH+HCl\xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}}CH_2{=}CHCl$　(氯乙烯)
	$HC{\equiv}CH+H_2O\xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}}CH_3CHO$
苯环只能与氢气加成	
醛(醛基) 酮(羰基)能与氢气加成	
醛(醛基)酮(羰基)能与氰化氢加成	$CH_3CHO+HCN\xrightarrow{\text{催化剂}}CH_3CH(OH)CN$　（2—羟基丙腈）
腈与氢气加成	$CH_3C{\equiv}N+2H_2\xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}}CH_3CH_2NH_2$
不饱和油脂与 H_2 加成	
Diels-Alder 反应	

(3)消去反应

①定义：有机化合物在一定条件下，从一个分子中脱去一个或几个小分子(如水、卤化氢等)，而生成含不饱和键化合物的反应

②特点：“只下不上，得不饱和键”是指卤代烃或醇在一定条件下消去小分子(如 H_2O 或 HX)得碳碳双键或碳碳三键的反应

③原理： 

④能发生消去反应的物质：某些卤代烃和醇

⑤能发生消去反应的卤代烃(或醇)，在结构上必须具备两个条件：一是分子中碳原子数大于或等于 2；二是与—X(—OH)相连的碳原子的邻位碳原子上必须有氢原子

有机物类别	实例
卤代烃消去反应	$CH_3CH_2Br+NaOH \xrightarrow[\Delta]{\text{乙醇}} CH_2{=}CH_2\uparrow+NaBr+H_2O$
醇的消去反应	$CH_3CH_2OH \xrightarrow[170°C]{\text{浓硫酸}} CH_2{=}CH_2\uparrow+H_2O$

(4)氧化反应

①定义：有机物去氢或加氧的反应

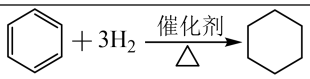
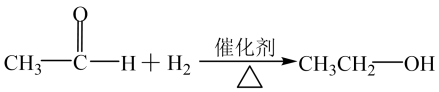
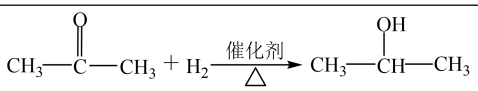
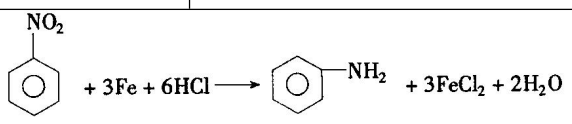
②氧化反应包括：烃和烃的衍生物的燃烧反应；烯烃、炔烃、二烯烃、苯的同系物、醇、醛等与酸性高锰酸钾反应；醇氧化为醛或酮的反应；醛氧化为羧酸的反应等

氧化反应类型	有机物类别	实例
燃烧	绝大多数有机物	$C_xH_yO_z+(x+\frac{y}{4}-\frac{z}{2})O_2 \xrightarrow{\text{点燃}} xCO_2+\frac{y}{2}H_2O$
酸性 $KMnO_4$ 溶液	烯烃、烯烃、炔烃、苯的同系物等、醇、酚、醛、葡萄糖、麦芽糖	
醇的催化氧化	醇	$2CH_3CH_2OH+O_2 \xrightarrow[\Delta]{Cu/Ag} 2CH_3CHO+2H_2O$
醛的氧化	银镜反应	$CH_3CHO+2Ag(NH_3)_2OH \xrightarrow{\text{水浴加热}} CH_3COONH_4+2Ag\downarrow+3NH_3+H_2O$
	新制氢氧化铜	$CH_3CHO+2Cu(OH)_2+NaOH \xrightarrow{\triangle} CH_3COONa+Cu_2O\downarrow+3H_2O$

(5)还原反应

①含义：有机物加氢或去氧的反应

②还原反应包括：醛、酮还原为醇，所有与氢气的加成反应也属于还原反应，“-NO_2”还原为“-NH_2”等

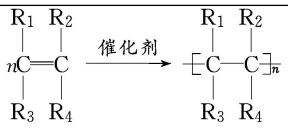
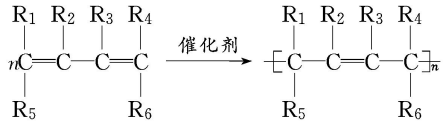
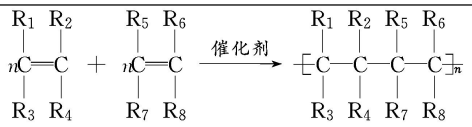
还原反应类型	有机物类别	实例
与 H_2 的反应	烯烃	$CH_2{=}CH_2+H_2 \xrightarrow[\Delta]{Ni} CH_3{-}CH_3$
	炔烃	$HC{\equiv}CH+H_2 \xrightarrow[\Delta]{Ni} CH_2{=}CH_2$，$CH_2{=}CH_2+H_2 \xrightarrow[\Delta]{Ni} CH_3{-}CH_3$
	芳香烃	
	醛	
	酮	
硝基苯还原		

(6)加聚反应

①定义：一定条件下，由含有不饱和键的相对分子质量小的低分子化合物以加成反应的形式结合成相对分子质量大的高分子化合物的化学反应叫加成聚合反应，简称加聚反应

②特点：单体必须是含有双键、三键等不饱和键的化合物。**如：**烯、二烯、炔、醛等含不饱和键的有机物

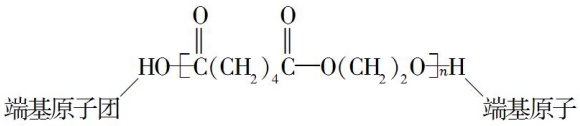
③加聚反应主要为含双键或三键的单体聚合

加聚反应类型	有机物类别	实例
烯烃加聚	单烯烃加聚	
	共轭二烯烃加聚	
	单烯烃共聚	
炔烃		

(7)缩聚反应

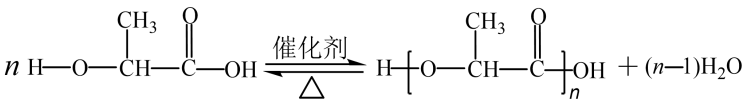
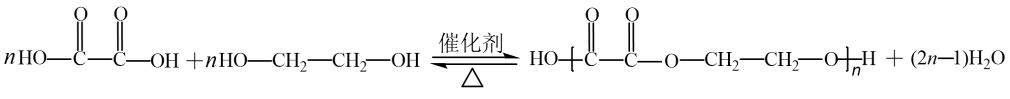
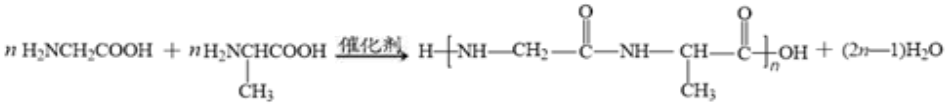
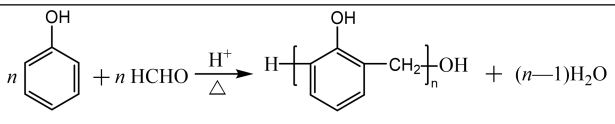
①定义：一定条件下，具有两个或多个官能团的单体相互结合成高分子化合物，同时有小分子(如 H_2O、NH_3、HCl 等)生成的反应称为缩聚反应

②缩聚产物的结构：



③特点：单体通常是具有双官能团(如—OH、—COOH、—NH_2、—X 及活泼氢原子等)或多官能团的小分子

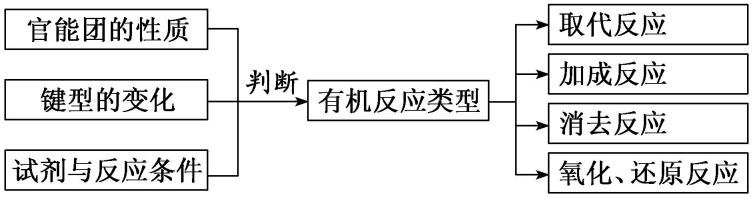
④缩聚反应主要包括：羟酸缩聚、醇酸缩聚、氨基酸缩聚、酚醛缩聚等

缩聚反应类型	实例
羟基酸之间的缩聚	
二元醇与二元酸之间的缩聚	
氨基酸之间的缩聚	
苯酚与 HCHO 的缩聚	

2．依据反应条件判断有机反应类型

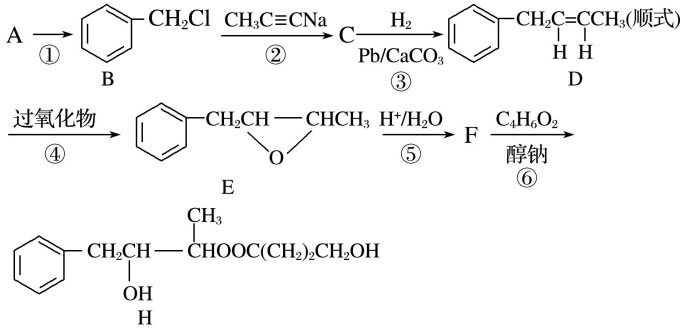
反应条件	反应类型和可能的官能团(或基团)
浓硫酸、△	①醇的消去(醇羟基)　②酯化反应(羟基或羧基)
稀硫酸、△	①酯的水解(酯基)　②糖类的水解反应
NaOH 水溶液、△	①卤代烃的水解(—X)　②酯的水解(酯基)
NaOH 醇溶液、△	卤代烃的消去(—X)
H_2/催化剂	加成(碳碳双键、碳碳三键、醛基、羰基、苯环)
O_2/Cu 或 Ag、△	醇羟基催化氧化
$Cl_2(Br_2)$/铁或 FeX_3 作催化剂	苯环上的取代反应
卤素单质(Cl_2 或溴蒸气)、光照	①烷烃的取代反应　②苯环上烷烃基的取代反应

3．有机化学反应类型判断的基本思路



【题组训练】

1．以芳香烃 A(C_7H_8)为原料合成某中间体 H 的路线如下：



已知：①RCl＋R′C≡CNa⟶RC≡CR′＋NaCl

②RCOOR′＋R″OH $\xrightarrow{\text{醇钠}}$ RCOOR″＋R′OH

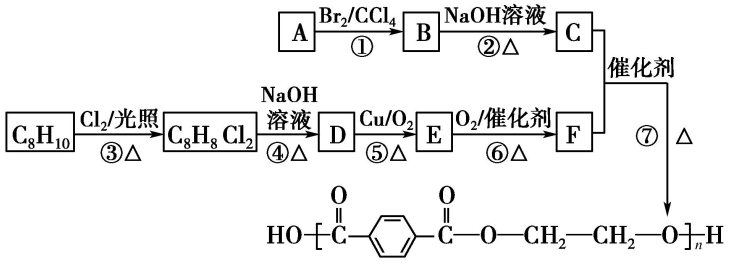
(1)①的反应条件及反应类型是_____；

(2)②③④的反应类型分别是_____、_____、_____；

(3)⑤的反应方程式：_____；

(4)⑥的反应方程式：_____；

2．一种常见聚酯类高分子材料的合成流程如下，请写出各步反应的化学方程式



①_____；

②_____；

③_____；

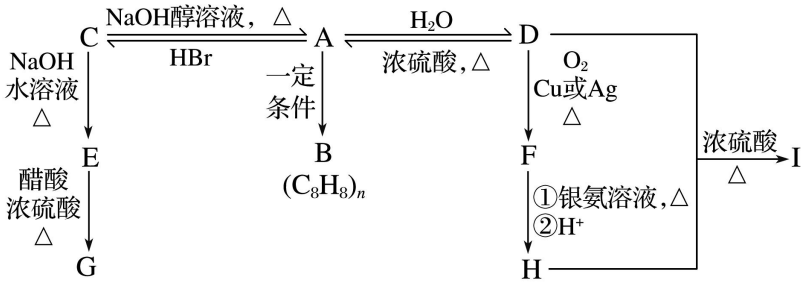
④_____；

⑤_____；

⑥_____；

⑦_____；

3．芳香烃 A 经过如图所示的转化关系可制得树脂 B 与两种香料 G、I，且知有机物 E 与 D 互为同分异构体



(1)A→B、A→C、C→E、D→A、D→F 的反应类型分别为_____、_____、_____、_____、_____；

(2)A 的结构简式为_____；G 的结构简式为_____；

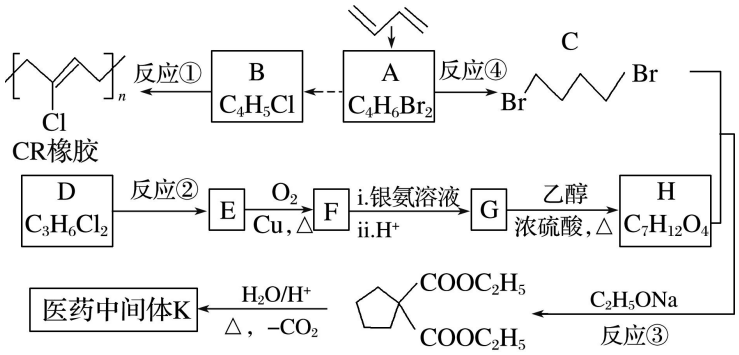
(3)写出下列反应的化学方程式：

①C→A：_____；

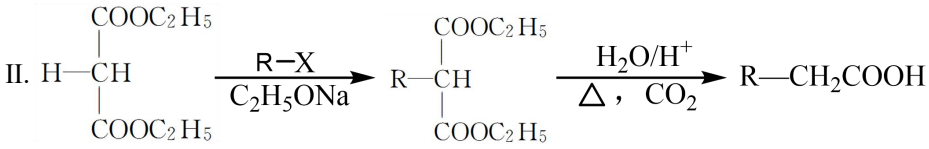
②F 与银氨溶液：_____；

③D＋H→I：_____；

4．石油裂解气用途广泛，可用于合成各种橡胶和医药中间体。利用石油裂解气合成 CR 橡胶和医药中间体 K 的路线如图：



已知：I.氯代烃 D 核磁共振氢谱峰面积之比为 2:1



(1)A 的顺式异构体的结构简式为_____，D 的系统名称是_____；

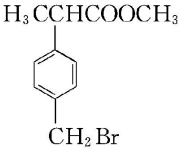
(2)反应②的条件是_____，依次写出①、③、④的反应类型：_____、_____、_____；

(3)写出 F→G 过程中第一步反应的化学方程式：

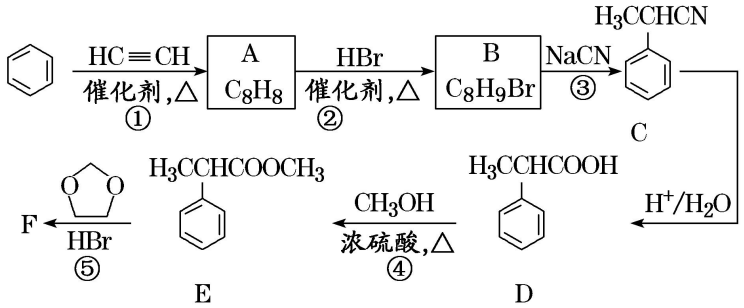
_____；

(4)G 还能与其他醇类发生反应，写出 G 与乙二醇发生聚合反应的化学方程式

_____。

5．有机物 F(

)是合成某种药物的中间体，它的一种合成路线如图所示：



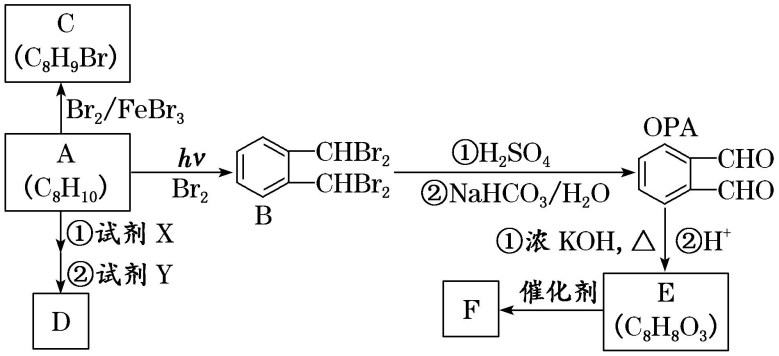
(1)反应①的化学方程式为_____，反应类型为_____；

(2)反应②的化学方程式为_____，反应类型为_____；

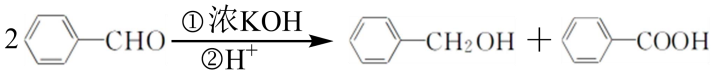
(3)反应③的化学方程式为_____，反应类型为_____；

(4)反应⑤的化学方程式为_____。

6．芳香化合物 A 是一种基本化工原料，可以从煤和石油中得到。OPA 是一种重要的有机化工中间体，A、B、C、D、E、F 和 OPA 的转化关系如下所示：



已知：



(1)A 的结构简式为_____；

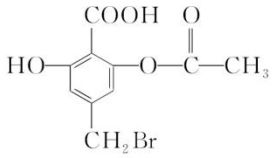
(2)D(邻苯二甲酸二乙酯)是一种增塑剂。由 A 可以经过两步合成 D，反应②的化学方程式为

_____；

(3)OPA 经中间体 E 可合成一种聚酯类高分子化合物 F，由 E 合成 F 反应的化学方程式为

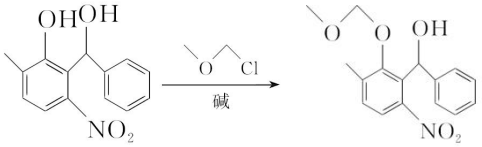
_____；

(4)一种新型可降解聚碳酸酯塑料，可由 OPA 的一种还原产物与碳酸二甲酯在一定条件下，通过缩聚反应制得，该聚酯的结构简式为_____。

7． 

与足量 NaOH 溶液共热反应的化学方程式为

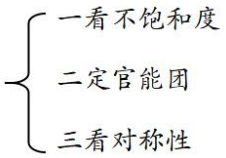
_____

8．已知： 

，在 NaOH 溶液中，苯酚与 CH_3OCH_2Cl 反应的化学方程式为_____

热点题空 4　有限制条件同分异构体的书写

【通用解法】



限定条件的同分异构体书写技巧

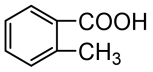
(1)确定碎片：明确书写什么物质的同分异构体，该物质的组成情况怎么样？解读限制条件，从不饱和度、性质联想结构，将物质分裂成一个个碎片，碎片可以是官能团，也可是烃基(甚至是除官能团以外的饱和碳原子)

(2)组装分子：要关注分子的结构特点，包括几何特征和化学特征

①几何特征是指所组装的分子是空间结构还是平面结构，有无对称性

②化学特征包括等效氢、核磁共振氢谱

【经典例题分析】

结构	要求
	①属于芳香化合物　②能与银氨溶液反应产生光亮的银镜 ③能与 NaOH 溶液反应

第一步：确定碎片 (可以结合不饱和度)

分析：芳香→苯环→除苯环外 2C、2O、Ω=1　银氨→醛基/甲酸酯基　NaOH 溶液→羧基/酯基/酚羟基（不考虑卤原子）

第二步：结合碎片和已知限定条件确定基团和官能团　(核心步骤)

	与银氨溶液	与 NaOH 溶液	备注	**注意细节乃做题制胜法宝！**
羧酸	×	√		
羟基醛	√	苯酚　√	必须同时有酚羟基和醛基才能满足两个条件	
酯	甲酸酯√	√	酯与银氨溶液不反应，但甲酸酯可以	

综上所述，符合本题条件的有两大类：①羟基醛[(酚)—OH，—CHO]；②甲酸酯(—OOCH)

第三步：将已知信息组合好再考虑未组装的部分，方便快捷不出错

①若为羟基醛[(酚)—OH，—CHO]，则还剩余一个碳原子，分两种情况讨论

若苯环有两个侧链，此时—CH_2—只能和醛基一起，有邻、间、对 3 种

若苯环有三个侧链，则为—OH，—CHO、—CH_3，苯环连接三个不同的取代基总共有 10 种

②若为甲酸酯(—OOCH)：则用—OOCH 取代甲苯上的氢原子，总共 4 种；**总共 17 种**

【高考必备知识】

1．巧用不饱和度记住常见有机物的官能团异构

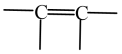
(1)不饱和度

①概念：不饱和度又称缺氢指数，即有机物分子中的氢原子与和它碳原子数相等的链状烷烃相比较，每减少 2 个氢原子，则有机物的不饱和度增加 1，用Ω表示

②有机化合物($C_xH_yO_z$)分子不饱和度的计算公式为： $\Omega=\frac{2x+2-y}{2}$

【微点拨】在计算不饱和度时，卤素原子可视为氢原子；氧原子计为0；若含有氮原子，就在氢原子总数中减去氮原子数（本质：取决于该原子形成稳定结构所需的成键数）

③几种常见结构的不饱和度

官能团或结构		C═O(醛、酮、羧酸、酯)	环	—C≡C—	苯环
不饱和度	1	1	1	2	4

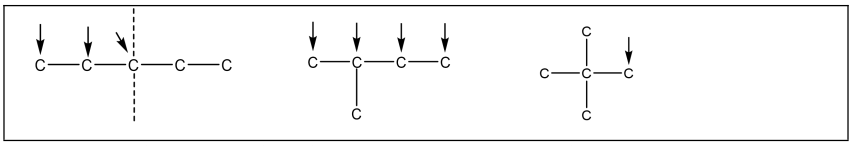
(2)常见有机物的官能团异构

通式	不饱和度	常见类别异构体
C_nH_{2n+2}	0	无类别异构体
C_nH_{2n}	1	单烯烃、环烷烃
C_nH_{2n-2}	2	单炔烃、二烯烃、环烯烃、二环烃
$C_nH_{2n+2}O$	0	饱和一元醇、饱和一元醚
$C_nH_{2n}O$	1	饱和一元醛、饱和一元酮、烯醇、烯醚、环醇、环醚
$C_nH_{2n}O_2$	1	饱和一元羧酸、饱和一元酯、羟醛、羟酮
$C_nH_{2n+1}O_2N$	1	氨基酸、硝基烷

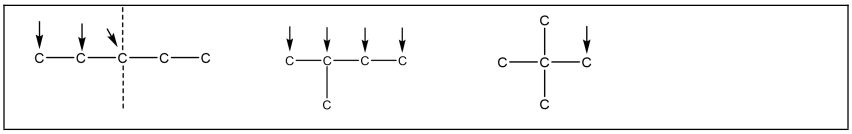
2．四种方法全面剖析同分异构体

(1)取代思想——采用等效氢、对称的方法，适用于一卤代物、醇的找法

①一卤代烃：看作是氯原子取代烃分子中的氢原子，以“$C_5H_{11}Cl$”为例

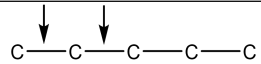
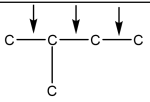
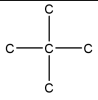


②醇：看作是—OH原子取代烃分子中的氢原子，以“$C_5H_{12}O$”为例

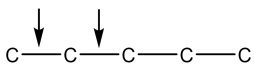
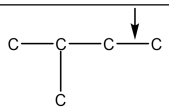
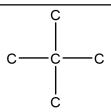


(2)变键思想——即将有机物中某个位置化学键进行变化得到新的有机物，适用于烯烃、炔烃、醛和羧酸

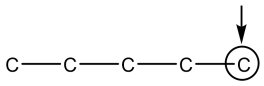
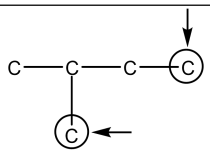
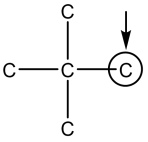
①烯烃：单键变双键，要求相邻的两个碳上至少各有1个氢原子，以“C_5H_{10}”为例

箭头指的是将单键变成双键		新戊烷中间碳原子上无氢原子，不能变成双键
		

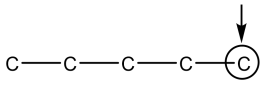
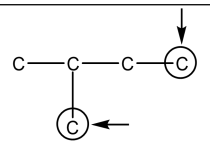
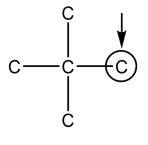
②炔烃：单键变三键，要求相邻的两个碳上至少各有2个氢原子，以“C_5H_8”为例

箭头指的是将单键变成三键	异戊烷第2个碳原子只有1个氢原子，两边单键不能变成三键	新戊烷中间碳原子上无氢原子，不能变成三键
		

③醛：醛基属于端位基，将烃分子中链端的甲基变成醛基，以“$C_5H_{10}O$”为例

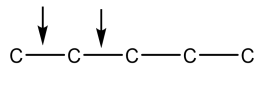
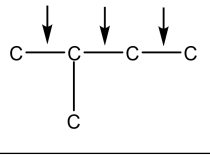
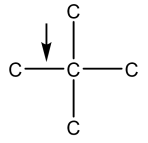
箭头指向是指将链端甲基变成醛基，数甲基个数即可		
		

④羧酸：羧基属于端位基，将烃分子中链端的甲基变成羧基，以“$C_5H_{10}O_2$”为例

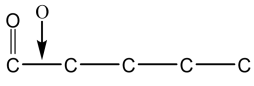
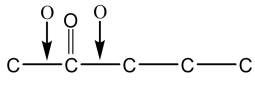
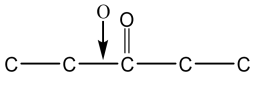
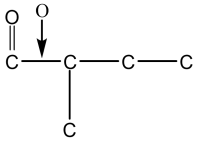
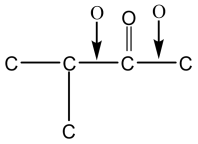
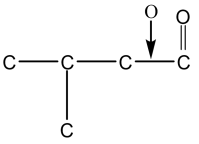
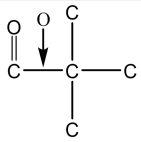
箭头指向是指将链端甲基变成羧基，数甲基个数即可		
		

(3)插键思想——在有机物结构式中的某个化学键的位置插入原子而得到新的有机物的结构，适用于醚和酯

①醚：醚键可以理解为在 C—C 单键之间插入氧原子，以“$C_5H_{12}O$”为例

箭头指向是指在 C—C 单键之间插入氧原子		
		

②酯：酯可以理解在 左、右两边插入氧原子，可以先找出酮，再插入氧，以“$C_5H_{10}O_2$”为例

			
			
若在链端，注意只能在一边插入氧原子，另外要注意对称性，此法对含苯环类的非常有效			

(4)分碳法：以一个有方向性的官能团为界，分别讨论两侧的基团

酯：酯类化合物也可以先定下酯基，再讨论酯基两侧可能的基团。

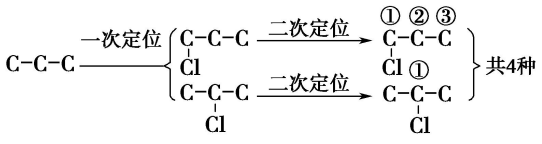
$C_5H_{10}O_2$（酯类）：R_1—COO—R_2，$R_1+R_2=C_4H_{10}$→

①R_1=H-，R_2=C_4H_9-；　②R_1=CH_3-，R_2=C_3H_7-；

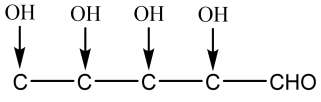
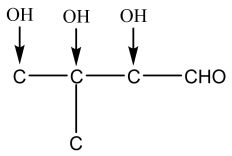
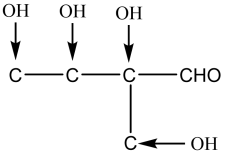
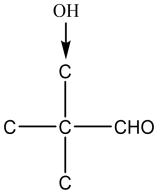
③R_1=C_2H_5-，R_2=C_2H_5-；　④R_1=C_3H_7-，R_2=CH_3-；　⑤R_1=C_4H_9-，R_2=H-　**此时不为酯！**

(5)多官能团同分异构体

①同种官能团：定一移一，以“$C_3H_6Cl_2$”为例

先找一氯代物，再利用等效氢法，再用氯原子取代一氯代物上的氢原子


②不同种官能团：变键优先，取代最后，以“羟基醛($C_5H_{10}O_2$)”为例

<table>
<tr><td colspan="4">先找戊醛，再用羟基取代氢原子</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>

3．记住常见同分异构体的数目

(1)烷烃同分异构体的个数

烷烃	甲烷	乙烷	丙烷	丁烷	戊烷	己烷	庚烷
个数	1	1	1	2	3	5	9

(2)烷基的个数

烷基	甲基	乙基	丙基	丁基	戊基
个数	1	1	2	4	8

【微点拨】凡可以写成形如“C_nH_{2n+1}-X”的烷基一取代化合物都是在问烷基的同分异构数。

(3)含苯环同分异构体数目确定技巧

①若苯环上连有 2 个取代基，其结构有邻、间、对 3 种

②若苯环上连有 3 个取代基：

AAA 型：3 种　　AAB 型：6 种　　ABC 型：10 种

延伸思考：若苯环上连有 4 个取代基(AAAA、AAAB、AABB)？

若环己烷基上连有 2 个取代基？环戊烷呢？

对于不同侧链数的苯环，分别在什么情况下对称性最好，或者说，有最少的等效氢种类？

4．限制条件的同分异构体结构的推断分析

常见限定条件	对应的官能团或结构
能与 $NaHCO_3$ 或 Na_2CO_3 溶液反应放出气体(CO_2)	—COOH
能与钠反应产生 H_2	—OH 或—COOH
能与 Na_2CO_3 溶液反应	—OH(酚)或—COOH
能与 NaOH 溶液反应	—OH(酚)或—COOH 或—COOR 或—X
能发生银镜反应或能与新制 $Cu(OH)_2$ 反应	含醛基(—CHO)、甲酸酯(HCOOR)
能与 $FeCl_3$ 溶液发生显色反应	—OH(酚)
能发生水解反应	—COOR 或—X 或—CONH—
既能发生水解反应又能发生银镜反应(或水解产物能发生银镜反应)	甲酸酯(HCOOR)

【思维提升】

核磁共振氢谱：

核磁共振氢谱图可给出不同化学环境的氢原子（即等效氢）种类和相对比例。等效氢的信息通常放在最后考虑，在确定各个基团之后再来结合等效氢的种类和数目分析碳骨架和基团的位置，但有时也可以从等效氢的数目判断出一些简单的限制条件，如等效氢数目中若出现 3 则往往意味着含有甲基，6 往往表示两个对称位置的甲基，9 大概率表示存在叔丁基[-C(CH_3)$_3$]。若一道大题先问同分异构体的数目再问其中一种的结构简式，后一问有时也会对前一问有所启发。

【例题 1】(2024·上海)写出同时满足下列条件的 D（$C_{11}H_{13}FO$）的同分异构体的结构简式_____。

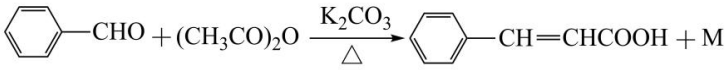
I．属于芳香族化合物，能发生银镜反应

II．核磁共振氢谱显示分子中含有 3 类化学环境不同的氢原子，其个数之比为 6:6:1

【思维提升】

除去必考的同分异构体书写，有机流程本身也常常出现未知物质的推断。此类物质的推断与同分异构体的书写有相似之处，只是通常先考虑结合流程前后已给出的结构判断大致骨架和可能存在的官能团，再从不饱和度、特殊原子（O、F、Cl 等）、给定已知条件等角度出发进行推敲。

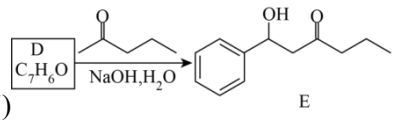
【例题 2】实验室常用苯甲醛和乙酸酐在K_2CO_3作催化剂加热的条件下制备肉桂酸：



苯甲醛　　乙酸酐

已知：副产品 M 能与$NaHCO_3$溶液发生反应，则 M 的结构简式为_____。

【例题 3】(2023·北京)



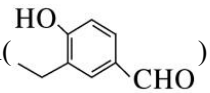
E

羰基相邻碳原子上的 C-H 键极性强，易断裂，原因是_____。

该条件下还可能生成一种副产物，与 E 互为同分异构体。该副产物的结构简式是_____。

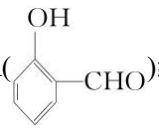
【微点拨】副产物类问题往往和主反应机理有所联系，不妨先试试把机理弄清楚。

【题组训练】

1．J 为 A(

)的同分异构体，J 能与氯化铁溶液发生显色反应，J 能发生银镜反应。J 的苯环上含有 4 个取代基的同分异构体中核磁共振氢谱有四组峰，且峰面积之比为 6∶2∶1∶1 的结构简式为

_____(有几种，写几种)。

2．T 是与 R(

)组成元素种类相同的芳香化合物，满足下列条件的 T 有_____种结构。

①相对分子质量比 R 多 14；②能与金属 Na 反应放出氢气，但不与 $NaHCO_3$ 反应；③能发生银镜反应。其中，在核磁共振氢谱上有 5 组峰且峰面积之比为 1:1:2:2:2 的结构简式为_____(写出一种即可)。

3．具有 2 种官能团的二取代芳香酯类化合物 W 是 C( )的同分异构体，1 mol W 与足量银氨溶液充分反应能生成 4 mol Ag，则 W 共有_____种，其中核磁共振氢谱有

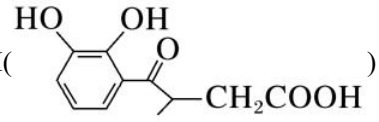
6 组峰且峰面积之比为 1∶1∶2∶2∶2∶2 的结构简式为_____。

4．(2023·河北)写出一种能同时满足下列条件的 G（$C_{10}H_{10}O_6$）的同分异构体的结构简式_____。

(a)核磁共振氢谱有两组峰，且峰面积比为 3∶2；

(b)红外光谱中存在 C=O 吸收峰，但没有 O－H 吸收峰；

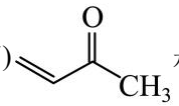
(c)可与 NaOH 水溶液反应，反应液酸化后可与$FeCl_3$溶液发生显色反应。

5．R 为 M()的同分异构体，同时满足下列条件的 R 的结构有_____种(不含立体异构)

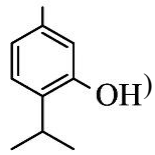
①只含两种官能团，能与 $FeCl_3$ 溶液发生显色反应，且苯环上连有两个取代基

②1 mol R 最多能与 2 mol $NaHCO_3$ 反应

③核磁共振氢谱有 6 组吸收峰

6．(2022·湖南)  是一种重要的化工原料，其同分异构体中能够发生银镜反应的有_____种(考虑立体异构)，其中核磁共振氢谱有 3 组峰，且峰面积之比为 4∶1∶1 的结构简式为_____。

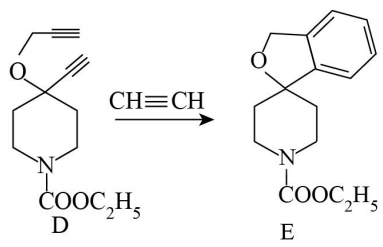
【微点拨】大部分时候，同分异构体的书写都会声明“不考虑立体异构”。

7.(2023·新课标)在 B()的同分异构体中，同时满足下列条件的共有_____种(不考虑立体异构)；

①含有手性碳；②含有三个甲基；③含有苯环。

其中，核磁共振氢谱显示为 6 组峰，且峰面积比为 3:3:3:2:2:1 的同分异构体的结构简式为_____。

8.(2025·浙江 6 月)



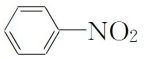
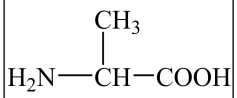
D　　E

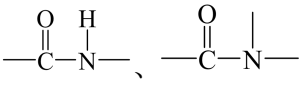
D → E 过程中有副产物生成，写出一种可能的副产物的结构简式_____(其分子式为$C_{26}H_{34}O_6N_2$且含有苯环)。

热点题空 5　含氮有机化合物的同分异构体书写

【必备知识】

1.熟悉常见含氮的有机化合物

	胺	酰胺	硝基化合物	氨基酸	腈
代表物结构式	CH_3NH_2	CH_3CONH_2			CH_3CH_2CN
名称	甲胺	乙酰胺	硝基苯	丙氨酸	丙腈
含氮官能团	氨基（$-NH_2$）	酰胺基 $-CONH_2$	硝基（$-NO_2$）	氨基（$-NH_2$）	氰基（$-CN$）

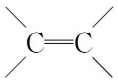
注：酰胺基还包括 

2.含氮的有机化合物的不饱和度的计算

（1）不饱和度的概念：不饱和度又称缺氢指数，即有机物分子中的氢原子与和它碳原子数相等的链状烷烃相比较，每减少 2 个氢原子，则有机物的不饱和度增加 1，用Ω表示

（2）有机化合物（$C_xH_yO_zN_a$）分子不饱和度的计算公式：$\Omega=\dfrac{2x+2-y+a}{2}$

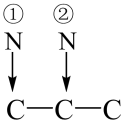
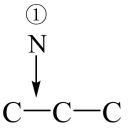
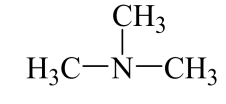
（3）常见特定结构的不饱和度

官能团或结构		（醛、酮、羧酸、酯）	环	—C≡C—	苯环	硝基（$-NO_2$）	氰基（$-CN$）
不饱和度	1	1	1	2	4	1	2

3.常见含氮的有机化合物同分异构体的找法

(1) 胺的同分异构体

①胺的同分异构体的找法

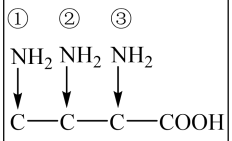
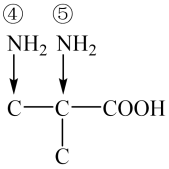
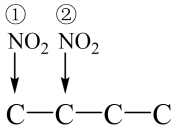
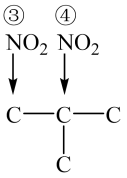
不饱和度	0		
方法	$-NH_2$取代氢原子	在 C-C 单键之间插入 N 原子	氮原子可以连接 3 个烃基
例：C_3H_9N			

②胺的同分异构体的个数

分子式	CH_5N	C_2H_7N	C_3H_9N	$C_4H_{11}N$
个数	1	2	4	8

(2) 氨基酸的同分异构体

①氨基酸的同分异构体的找法

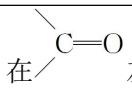
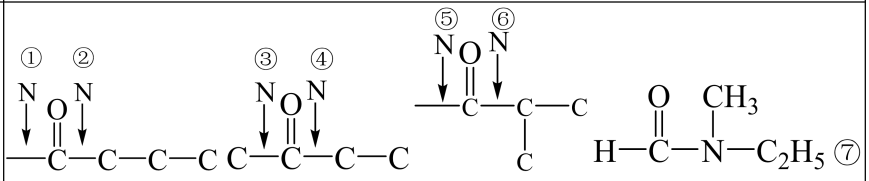
	$C_nH_{2n+1}NO_2$（n≥2）			
不饱和度	1			
官能团异构	氨基酸（n≥2）		硝基烷（n≥1）	
方法	多官能团，变键优先，取代其次：先找羧酸，再用氨基（-NH_2）取代		硝基（-NO_2）取代氢原子	
例：$C_4H_9NO_2$				

②常见的同分异构体的个数

分子式（$C_nH_{2n+1}NO_2$）	CH_3NO_2	$C_2H_5NO_2$	$C_3H_7NO_2$	$C_4H_9NO_2$
氨基酸（n≥2）		1	2	5
硝基烷（n≥1）	1	1	2	4

(3) 酰胺的同分异构体

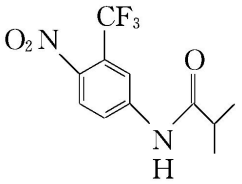
①酰胺的同分异构体的找法

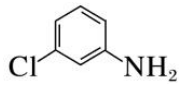
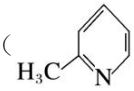
	$C_nH_{2n+1}NO$（n≥1）
不饱和度	1
方法	 在 左右两边插入氮（N）原子； 若有 3 个碳原子以上，氮（N）原子上可以连接两个烃基
例：C_4H_9NO	

②酰胺的同分异构体的个数

分子式（$C_nH_{2n+1}NO$）	CH_3NO	C_2H_5NO	C_3H_7NO	C_4H_9NO
个数	1	2	4	7

【题组训练】

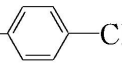
1.H 是 G（  ）的同分异构体，其苯环上的取代基与 G 的相同但位置不同，则 H 可能的结构有_____种。

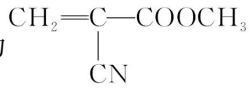
2.M 是 D（  ）的一种芳香同分异构体，满足下列条件的 M 有_____种 [已知苯胺和甲基吡啶（  ）互为同分异构体，并且具有芳香性]

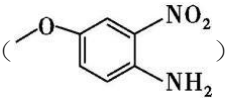
①分子结构中含一个六元环，且环上有两个取代基

②氯原子和碳原子相连

其中核磁共振氢谱有 3 组峰，且峰面积之比为 1∶1∶1 的物质的结构简式为_____。

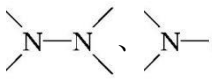
3．H_2N—  —CH_2CH_3 的同分异构体中含有苯环的有_____种（不考虑立体异构），其中核磁共振氢谱为 4 组峰，且面积比为 6∶2∶2∶1 的是_____（写出其中一种的结构简式）。

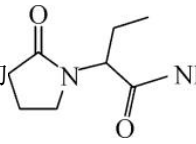
4．G（结构简式为  ）的同分异构体中，与 G 具有相同官能团且能发生银镜反应的共有_____种。（不含立体异构）

5．写出 3 种满足下列条件的化合物 G（  ）的同分异构体的结构简式为_____

①^{1}H-NMR 谱显示只有 6 种不同环境的氢原子

②含有苯环且只有一个取代基，另含有一个五元环

③不含－O－O－、  等结构片段

6．写出同时满足下列条件的  的一种同分异构体的结构简式为_____

①能发生水解反应，水解产物仅有一种，且为α-氨基酸

②分子中含六元环结构，且有 4 种不同化学环境的氢

热点题空 6　有机合成路线的设计

【高考必备知识】

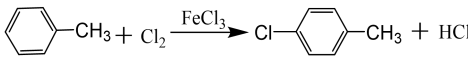
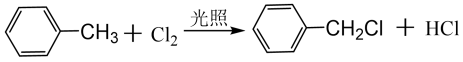
1．有机合成中官能团的转变

(1)官能团的引入

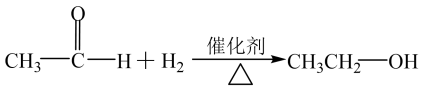
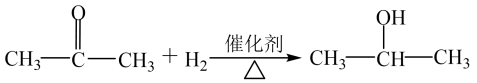
①引入或转化为碳碳双键的三种方法

醇的消去反应引入	$CH_3CH_2OH \xrightarrow[170°C]{\text{浓硫酸}} CH_2{=}CH_2\uparrow + H_2O$
卤代烃的消去反应引入	$CH_3CH_2Br + NaOH \xrightarrow[\Delta]{\text{乙醇}} CH_2{=}CH_2\uparrow + NaBr + H_2O$
炔烃与 H_2、HX、X_2 的不完全加成反应	$CH{\equiv}CH + H_2 \xrightarrow[\triangle]{\text{催化剂}} CH_2{=}CH_2$，$CH{\equiv}CH + Br_2 \longrightarrow CHBr{=}CHBr$ $CH{\equiv}CH + HCl \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}} CH_2{=}CHCl$

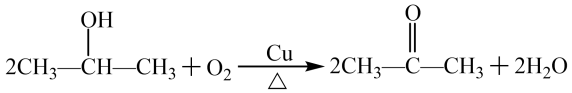
②引入碳卤键的三种方法

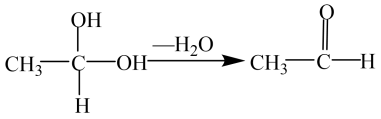
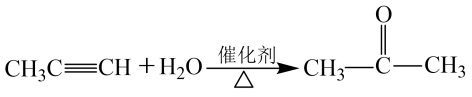
烷烃、苯及其同系物与卤素单质发生取代反应	$CH_3CH_3 + Cl_2 \xrightarrow{\text{光照}} HCl + CH_3CH_2Cl$(还有其他的卤代烃)  （催化剂也可用 $AlCl_3$ 等）， 
不饱和烃与卤素单质、卤化氢的加成反应	$CH_2{=}CHCH_3 + Br_2 \longrightarrow CH_2Br{-}CHBrCH_3$ $CH{\equiv}CH + HCl \xrightarrow{\text{催化剂}} CH_2{=}CHCl$ $CH_2{=}CHCH_3 + HBr \xrightarrow{\text{催化剂}} CH_3{-}CHBrCH_3$
醇与氢卤酸的取代反应	$R{-}OH + HX \xrightarrow[\triangle]{\text{浓硫酸}} R{-}X + H_2O$

③引入羟基的四种方法

烯烃与水加成生成醇	$CH_2{=}CH_2 + H_2O \xrightarrow[\text{加热、加压}]{\text{催化剂}} CH_3CH_2{-}OH$
卤代烃的碱性水解成醇	$CH_3CH_2{-}Br + NaOH \xrightarrow[\Delta]{\text{水}} CH_3CH_2{-}OH + NaBr$
醛或酮与氢气加成生成醇	 
酯水解生成醇	$CH_3COOCH_2CH_3 + H_2O \underset{}{\overset{H^+}{\rightleftharpoons}} CH_3COOH + CH_3CH_2OH$

④引入碳氧双键(醛基或羰基)的方法

醇的催化氧化生成醛(酮)	$2CH_3CH_2CH_2OH + O_2 \xrightarrow[\Delta]{Cu} 2CH_3CH_2CHO + 2H_2O$ 

连在同一个碳上的两个羟基脱水	
含碳碳三键的物质与水加成	

⑤引入羧基的 2 种方法

醛基氧化	$2CH_3CHO+O_2\xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}}2CH_3COOH$
酯、肽、蛋白质、羧酸盐的水解	$CH_3COOCH_2CH_3+H_2O\overset{H^+}{\rightleftharpoons}CH_3COOH+CH_3CH_2OH$

(2)官能团的消除

①通过加成反应可以消除不饱和键(碳碳双键、碳碳三键、苯环等)

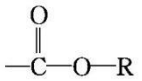
如： $CH_2{=}CH_2$ 在催化剂作用下与 H_2 发生加成反应

②通过消去、氧化或酯化反应等消除羟基

如： CH_3CH_2OH 消去生成 $CH_2{=}CH_2$，CH_3CH_2OH 被氧化生成 CH_3CHO

③通过加成或氧化反应等消除醛基

如： CH_3CHO 被氧化生成 CH_3COOH，CH_3CHO 被 H_2 还原生成 CH_3CH_2OH

④通过水解反应消除酯基( **)、肽键、卤素原子**

如： $CH_3COOC_2H_5$ 在酸性条件下水解生成 CH_3COOH 和 C_2H_5OH

⑤通过消去反应或水解反应消除卤素原子

如： CH_3CH_2Br 在 NaOH 醇溶液中发生消去反应生成乙烯和溴化钠，在 NaOH 水溶液中发生水解反应生成乙醇和溴化钠

(3)官能团的改变

①通过某些化学途径使一个官能团变成两个

a．$CH_3CH_2OH\longrightarrow CH_2{=}CH_2\longrightarrow CH_2XCH_2X\longrightarrow CH_2OHCH_2OH$

b．$CH_2{=}CHCH_2CH_3\rightarrow CH_3CHXCH_2CH_3\rightarrow CH_3CH{=}CHCH_3\rightarrow CH_3CHXCHXCH_3$

$\longrightarrow CH_2{=}CHCH{=}CH_2$

②利用官能团的衍生关系进行衍变

如： $R{-}CH_2OH\underset{H_2}{\overset{O_2}{\rightleftharpoons}}R{-}CHO\xrightarrow{O_2}R{-}COOH$

③通过某些手段改变官能团的位置

如： $CH_3CHXCHXCH_3\longrightarrow H_2C{=}CHCH{=}CH_2\longrightarrow CH_2XCH_2CH_2CH_2X$

2．官能团的保护与恢复

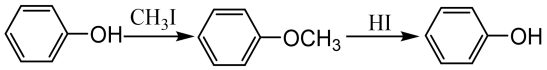
(1)碳碳双键： 易与卤素单质加成，易被氧气、臭氧、双氧水、酸性高锰酸钾溶液氧化

方法： 在氧化其他基团前可以利用其与 HCl 等的加成将其保护起来，后再利用消去反应转变为碳碳双键

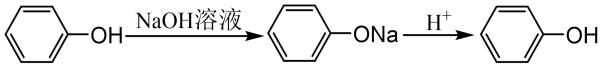
如： $HOCH_2CH{=}CHCH_2OH \xrightarrow{HCl} HOCH_2CH_2CHClCH_2OH \xrightarrow{KMnO_4/H^+} Cl{-}\underset{}{\overset{CH_2COOH}{\overset{|}{C}}}H{-}COOH \xrightarrow[②酸化]{①NaOH/醇} \overset{CHCOOH}{\overset{\|}{C}}HCOOH$

(2)酚羟基：易被氧气、臭氧、双氧水、酸性高锰酸钾溶液氧化

方法①：在氧化其他基团前用碘甲烷(CH_3I)先转化为苯甲醚，后用氢碘酸酸化重新转化为酚

如： 

方法②：在氧化其他基团前用 NaOH 溶液先转化为酚钠，后酸化重新转化为酚

如： 

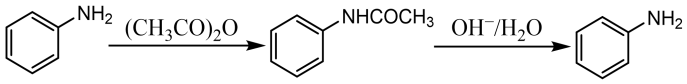
(3)醛基：易被氧化

方法：在氧化其他基团前可以用乙醇(或乙二醇)加成保护

如： $R{-}\overset{O}{\overset{\|}{C}}{-}H \xrightarrow[HCl]{C_2H_5OH} R{-}\overset{OC_2H_5}{\overset{|}{C}}{-}OC_2H_5 \xrightarrow{H^+/H_2O} R{-}\overset{O}{\overset{\|}{C}}{-}H$

(4)氨基：易被氧气、臭氧、双氧水、酸性高锰酸钾溶液氧化

方法：在氧化其他基团前可以用醋酸酐将氨基转化为酰胺，然后再水解转化为氨基。

如： 

3．有机合成中碳链的增长或缩短

(1)使有机物碳链增长的反应

加聚反应；缩聚反应；酯化反应；利用题目所给信息反应，如卤代烃的取代反应，醛、酮的加成反应……

①乙炔自身加成：$2CH{\equiv}CH \longrightarrow CH_2{=}CH{-}C{\equiv}CH$

②卤代烃跟 NaCN 溶液反应再水解可得到羧酸：$CH_3CH_2Br \xrightarrow{NaCN} CH_3CH_2CN \xrightarrow{H_2O} CH_3CH_2COOH$

③卤代烃与炔钠的反应：$2CH_3C{\equiv}CH + 2Na \xrightarrow{液氨} 2CH_3C{\equiv}CNa + H_2\uparrow$

$CH_3C{\equiv}CNa + CH_3CH_2Cl \longrightarrow CH_3C{\equiv}CCH_2CH_3 + NaCl$

④卤代烃与活泼金属钠反应：$2R{-}Cl + 2Na \longrightarrow R{-}R + 2NaCl$

⑤醛与氢氰酸的加成反： $CH_3{-}\overset{O}{\overset{\|}{C}}{-}H + H{-}CN \longrightarrow CH_3{-}\overset{OH}{\overset{|}{C}}H{-}CN$

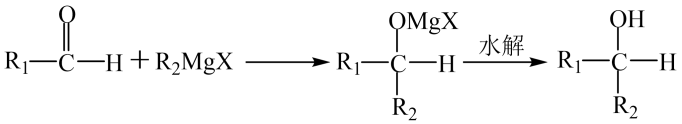
⑥醛、酮与 NH_3 加成反应制备胺： $CH_3CHO + NH_3 \xrightarrow{催化剂} CH_3{-}\overset{OH}{\overset{|}{C}}H{-}NH_2$

⑦羟醛缩合：有α-H 的醛在稀碱(10% NaOH)溶液中能和另一分子醛相互作用，生成β-羟基醛，称为羟醛缩合

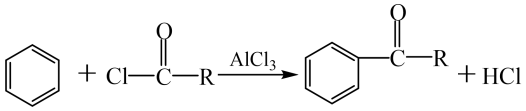
$2RCH_2CHO \xrightarrow{催化剂} R{-}CH_2\overset{OH}{\overset{|}{C}}H{-}\overset{R}{\overset{|}{C}}H{-}CHO \xrightarrow[\triangle]{催化剂} R{-}CH_2CH{=}\overset{R}{\overset{|}{C}}{-}CHO$

⑧醛、酮与醇加成反应制备半缩醛：$CH_3CHO+CH_3OH \xrightarrow{催化剂} CH_3-\underset{OH}{\underset{|}{CH}}-OCH_3$

⑨醛或酮与格氏试剂(R′MgX)发生加成反应，所得产物经水解可得醇



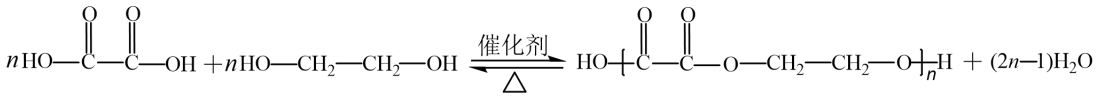
⑩苯环与卤代烃反应(傅克反应)：

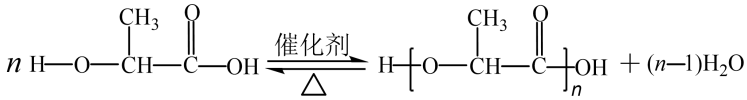
⑪苯环与酰卤反应： 

⑫聚合反应

烯烃、炔烃加聚反应：$n\,CH_2{=}CH_2 \xrightarrow{催化剂} \left[CH_2-CH_2\right]_n$　　$n\,CH{\equiv}CH \xrightarrow{催化剂} \left[CH{=}CH\right]_n$

缩聚反应：





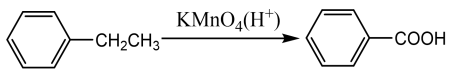
(2)使有机物碳链缩短的反应

①脱羧反应：$R-COONa+NaOH \xrightarrow[\Delta]{CaO} R-H+Na_2CO_3$

②水解反应：酯的水解、蛋白质的水解和多糖的水解

③烃的裂化或裂解反应：$C_{16}H_{34} \xrightarrow{高温} C_8H_{18}+C_8H_{16}$；$C_8H_{18} \xrightarrow{高温} C_4H_{10}+C_4H_8$

④氧化反应



$R-CH{=}CH_2 \xrightarrow[H^+]{KMnO_4} RCOOH+CO_2\uparrow$

$R_1-CH{=}CH-R_2 \xrightarrow[Zn/H_2O]{O_3} R_1CHO+R_2CHO$

4. 有机合成路线设计的思路

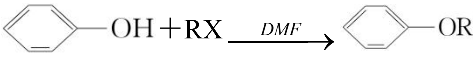
第一步：合成所用的关键信息往往隐藏于整个流程中，首先要在整个流程中寻找与目标化合物“形似”的结构。

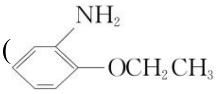
第二步：采用“逆推”法，比对原料和目标化合物的相同点、差异，解剖目标化合物。

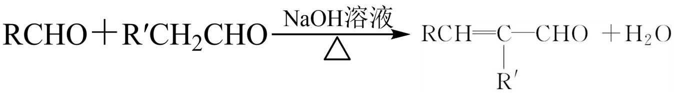
第三步：结合反应条件、“已知”的陌生信息等，准确、详细分析原流程中的合成历程、断键、成键、官能团转化等，如法炮制合成路线。

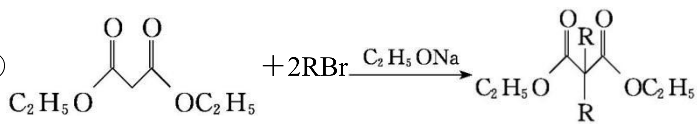
在写有机合成路线时，所需条件切忌越位和自由发挥，必须来自于已知信息或题干流程中给予的信息。信息优先，所学原理次之。

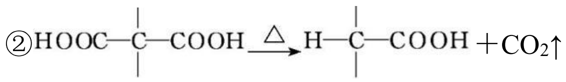
【题组训练】

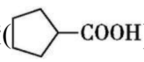
1．已知：（1）  +HX(R 为烃基，X 为卤素原子)；（2）

$R-NO_2 \xrightarrow[H_2O]{Fe,\ HCl} R-NH_2$。2－氨基苯乙醚()可用作燃料、香料、医药中间体。请设计以苯酚和乙醇为起始原料制备 2-氨基苯乙醚的合成路线(无机试剂任选)

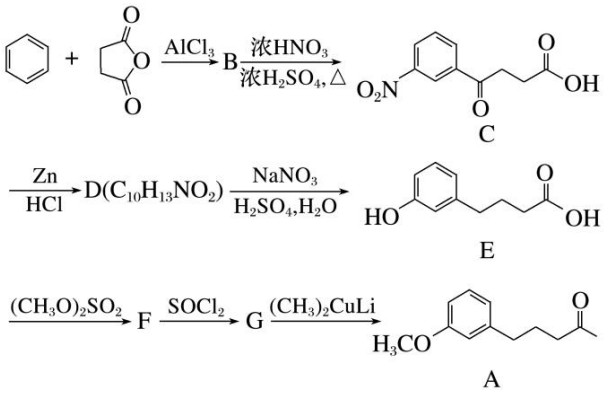
2．已知：  (R、R'为烃基或氢)。根据已有知识并结合相关信息，写出以 CH_3CHO 为原料制备 $CH_3COCOCOOH$ 的合成路线流程图(无机试剂任用)

3．已知：①  +2HBr；

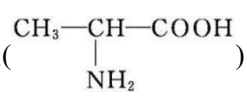
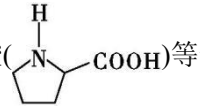


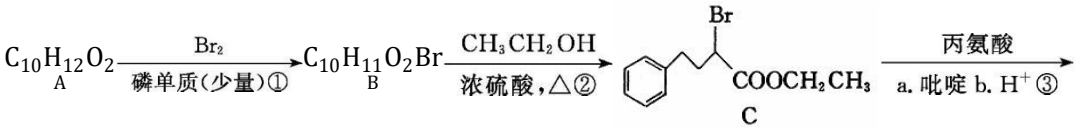
以 1，3－丁二烯和 $CH_3CH_2OOCCH_2COOCH_2CH_3$ 为原料可制备环戊基甲酸()，设计合成路线(用流程图表示，无机试剂、有机溶剂任选)

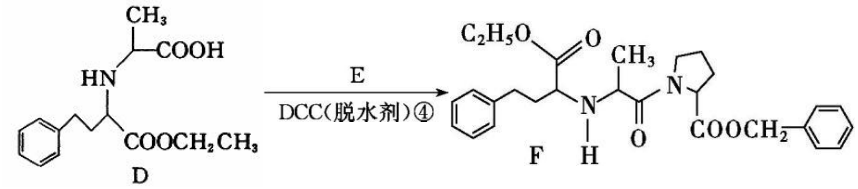
4．化合物 A 是合成雌酮激素的中间体，科学家们采用下列合成路线来制备：

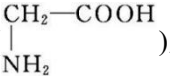


已知：$CH_3COOH \xrightarrow{SOCl_2} CH_3COCl$，设计由 1，2－二溴乙烷合成 $CH_3COCOCH_3$ 的合成路线(其他试剂任选)

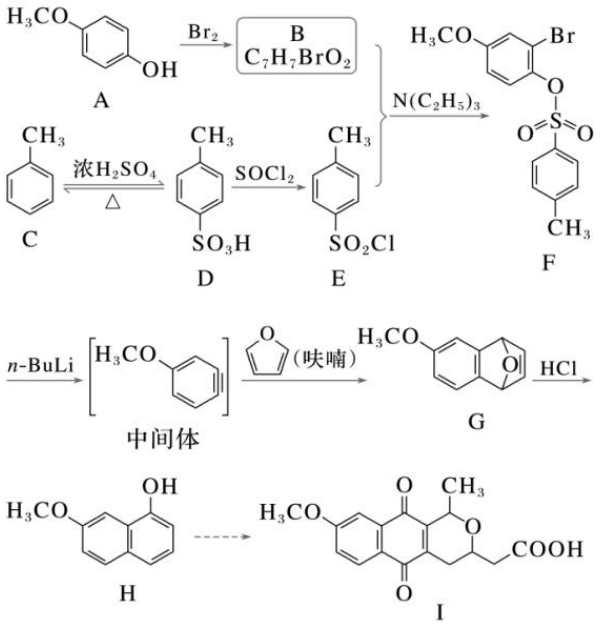
5．诺贝尔奖得主利斯特利用多种有机小分子代替金属进行“不对称催化”。例如脯氨酸就具有催化高效、低价绿色的特点。由丙氨酸()、脯氨酸()等试剂合成某高血压治疗药物前体 F，其合成路线图如下





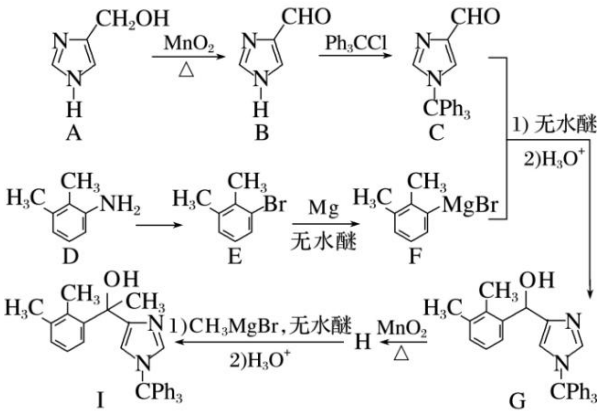
结合以上合成路线信息,请设计以乙醇、乙二醇和甘氨酸()为原料，合成聚酯类高分子有机化合物 的合成路线(其他试剂任选)

6．[2023·湖南，18(7)]含有吡喃萘醌骨架的化合物常具有抗菌、抗病毒等生物活性，一种合成该类化合物的路线如下(部分反应条件已简化)：

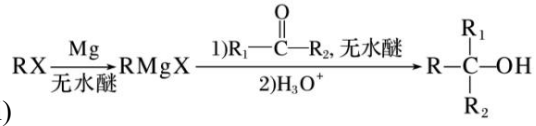


甲苯与溴在 $FeBr_3$ 催化下发生反应，会同时生成对溴甲苯和邻溴甲苯，依据由 C 到 D 的反应信息，设计以甲苯为原料选择性合成邻溴甲苯的路线(无机试剂任选)。

7. [2024·安徽 18(6)]化合物 I 是一种药物中间体，可由下列路线合成(Ph 代表苯基，部分反应条件略去)：

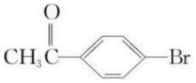


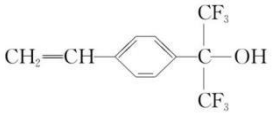
已知：i)



ii)RMgX 易与含活泼氢化合物(HY)反应：RMgX+HY⟶RH+

，HY 代表 H_2O、ROH、RNH_2、RC≡CH 等。

参照上述合成路线，设计以 

和不超过 3 个碳的有机物为原料，制备一种光刻胶单体 

的合成路线(其他试剂任选)。